



Indagar sobre las reacciones químicas y desarrollo de la competencia científica

Inquiry about Chemistry Reactions and Development of Scientific Competence

Ana Isabel Bárcena Martín, 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
anabarce@ucm.es, mtzaznar@ucm.es

RESUMEN • Se presenta una investigación de tipo cuasiexperimental, con estudiantes de primero de bachillerato, basada en la metodología de resolución de problemas por investigación (MRPI) de corte indagativo. Las situaciones problemáticas planteadas se contextualizan en la unidad didáctica *Reacciones químicas y biomasa* diseñada al efecto. Los resultados obtenidos a partir de las producciones de los estudiantes indican niveles de resolución muy elevados para todas las dimensiones competenciales científicas analizadas, con diferencias estadísticamente significativas respecto al momento inicial. Además, se compara la eficacia para resolver problemas cerrados de los estudiantes con otros de un grupo control que han trabajado con una metodología centrada en el entrenamiento de este tipo de tareas.

PALABRAS CLAVE: Indagación; Resolución de problemas; Competencia científica; Reacciones químicas; Bachillerato.

ABSTRACT • A quasi-experimental type of research is presented, with first-year high school students, based on the problem-solving methodology as an investigation (PSMI). The problematic situations raised are contextualized in the didactic unit *Chemical Reactions and Biomass* designed for this purpose. The results obtained from the students' productions indicate very high levels of resolution for all the scientific competence dimensions analyzed, with statistically significant differences with respect to the initial moment. In addition, the effectiveness of solving closed problems of the students is compared with that of others in a control group working with a methodology focused on training these types of tasks.

KEYWORDS: Inquiry; Problem solving; Scientific competence; Chemical reactions; High education.

Recepción: julio 2020 • Aceptación: diciembre 2020

INTRODUCCIÓN

Entre los diferentes aspectos que preocupan a los docentes en la enseñanza de las ciencias podemos resaltar dos de ellos. El primero se refiere a la creciente desmotivación de los escolares hacia el estudio de las materias científicas, tendencia compartida con otros países de la OCDE (OCDE, 2013; OCDE, 2006).

El segundo proviene del análisis de la competencia científica adquirida por los estudiantes. En este sentido, los resultados de las pruebas PISA 2015 (*Programme for International Student Assessment*) pusieron de manifiesto que, aunque los escolares españoles de 15 años obtuvieron en dicha prueba valores en la media de los países de la OCDE, estaban por debajo de la obtenida por los países de la Unión Europea. Pero el dato más preocupante es el relacionado con la competencia para la resolución de problemas, analizada específicamente en la prueba de 2012, que presenta valores de 23 puntos por debajo de la media, con un 28 % de los escolares en los niveles más bajos de competencia (1 o menos de 1 en una escala del 0 al 6) (INEE, 2014, 2013a y 2013b).

Para superar estas barreras, las investigaciones didácticas sugieren cambios metodológicos que promuevan métodos inductivos o de indagación centrados en el estudiante (Hazelkorn, 2015; Rocard et al., 2007), y entre ellos los basados en la resolución de problemas, como el que se presenta en este trabajo.

Sin embargo, existen voces discordantes que señalan las posibles limitaciones de la enseñanza mediante las actividades de indagación (Cairns y Areepattamannil, 2019; Cobern et al., 2010) y, en concreto, en relación con el adecuado desempeño de los adolescentes en la resolución de exámenes estándar de ciencias (Jerrima, Oliverb y Sims, 2019).

Con esta investigación, se pretende aportar pruebas que apoyen la eficacia de una metodología indagativa de resolución de problemas para el aprendizaje de la competencia científica y, asimismo, para la resolución de problemas cerrados habituales en la enseñanza tradicional.

MARCO TEÓRICO

Últimamente, las metodologías indagativas han tomado gran relevancia tanto nacional (Aguilera et al., 2018) como internacionalmente (Lazonder y Harmsen, 2016; Minner, Levy y Century, 2010; Abd-El-Khalick et al., 2004). Estas metodologías comparten el hecho de estar centradas en el alumno y asumen que aprender es construir activamente el conocimiento (Gaigher, Lederman y Lederman, 2014; Keys y Bryan, 2001), potencian las habilidades de trabajo en equipo y favorecen la motivación (Pease y Kuhn, 2011), y se diferencian entre sí en la naturaleza y alcance (ámbito/campo) del reto que los alumnos deben resolver, y en la guía que reciben por parte del profesorado (Prince y Felder, 2006). Entre ellas, estarían las basadas en la resolución de problemas (*problem-based education*, PBE, en inglés), que es el enfoque asumido en esta investigación.

Según se señala en la literatura, la resolución de problemas es uno de los métodos indagativos más efectivos e innovadores para producir aprendizajes eficaces y permanentes (Letina y Dikovic, 2012; Pease y Kuhn, 2011; Hung, Jonassen y Liu, 2008), construir competencias científicas específicas (Lorenzo, Álvarez, Arias y Pérez, 2019; Pérez y Crujeiras, 2019; Franco-Mariscal, 2015; Martínez-Aznar y Bárcena, 2013) y desarrollar destrezas metacognitivas y de razonamiento (Quezco, 2019; Turns, Cuddihy y Guan, 2010).

Durante el proceso de resolución de problemas, el alumnado realiza un aprendizaje activo, autodirigido y autorreflexivo a través de la interacción con los iguales y el profesorado (Jonassen, 2011; Pease y Kuhn, 2011; Romero-Álvarez, Rodríguez-Castillo y Gómez-Pérez, 2008). Para que el aprendizaje sea efectivo, es importante que el alumno se implique activamente desde el principio hasta el final, esta-

bleciendo metas que mantengan su motivación y apoyándose en la contextualización de los problemas, pues la desconexión con el mundo real parece favorecer el abandono de las tareas y de los estudios de ciencias, a más largo plazo (English y Kitsantas, 2013; Prince y Felder, 2007).

Para los estudiantes, el proceso de resolución puede conllevar, inicialmente, una gran resistencia por las demandas cognitivas y el tiempo que implica la resolución de los retos (Prince y Felder, 2007), sobre todo por el esfuerzo que supone la elaboración de informes (Letina y Dikovic, 2012; Turns, Cuddihy y Guan, 2010), y que incluso puede producir ansiedad por la desorientación o confusión originada al enfrentarse a la resolución (Dabbagh y Blijd, 2010).

En lo que se refiere al profesorado, que actúa como guía y orientador del proceso de aprendizaje, es el responsable de diseñar problemas próximos a una realidad cercana y cotidiana al alumno (Crujeiras y Jiménez, 2015; Blanco, España y Rodríguez, 2012; Caamaño, 2011; Lupión y Prieto, 2007) para aumentar su interés y motivación, y posibilitar así un aprendizaje significativo (Edelson, Gordin y Pea, 1999). Es decir, el andamiaje que realizar por el profesorado es fundamental para conseguir el éxito en el proceso del aprendizaje basado en problemas (Kim, Belland y Axelrod, 2019). Todas estas funciones hacen que el docente adquiera un rol complejo tanto por el tiempo requerido para el desarrollo de las clases como por las dificultades para planificar la secuencia de los contenidos e incorporar las competencias específicas presentes en los currículos oficiales. Por ello, es comprensible que estas metodologías sean más difíciles de implementar y muestren más resistencia por parte del profesorado (Jonassen, 2011; Prince y Felder, 2007).

La MRPI: una metodología indagativa

La metodología de resolución de problemas por investigación (MRPI) es un enfoque indagativo incluido dentro de las metodologías basadas en la resolución de problemas. Como todos los enfoques indagativos, asume el aprendizaje constructivista que supone que aprender es construir conocimiento mediante la reestructuración de este, al igual que sucede con los paradigmas científicos (Vosniadou, 2008; Duit y Treagust, 2003). Así, la resolución implica llevar a cabo procesos propios de la ciencia, lo que permite al alumnado asumir una visión actualizada de esta.

La resolución de los problemas, de enunciado abierto, se lleva a cabo en cinco fases o procedimientos que se corresponden con dimensiones de la competencia científica: análisis cualitativo de las situaciones problemáticas (DC1), planteamiento de hipótesis (DC2), elaboración de estrategias de resolución (DC3), resolución del problema (DC4) y análisis de resultados (DC5).

En la figura 1 se muestran las características de cada fase y la importancia de revisar los planteamientos previos y la construcción del nuevo conocimiento como punto de partida para la formulación de nuevos problemas, es decir, se asume el carácter cíclico de la metodología científica propia de los métodos indagativos frente a la lineal más tradicional (Sandoval, 2004). Además, su implementación se lleva a cabo en grupos cooperativos que reflejan los debates propios de los equipos de investigación (Hogan, 2002).

Con la MRPI, los estudiantes desarrollan estrategias y habilidades de resolución, y logran una mayor comprensión de los contenidos conceptuales, lo que posibilita el cambio conceptual duradero en el tiempo (Bárcena, 2015; Ibañez y Martínez-Aznar, 2005).

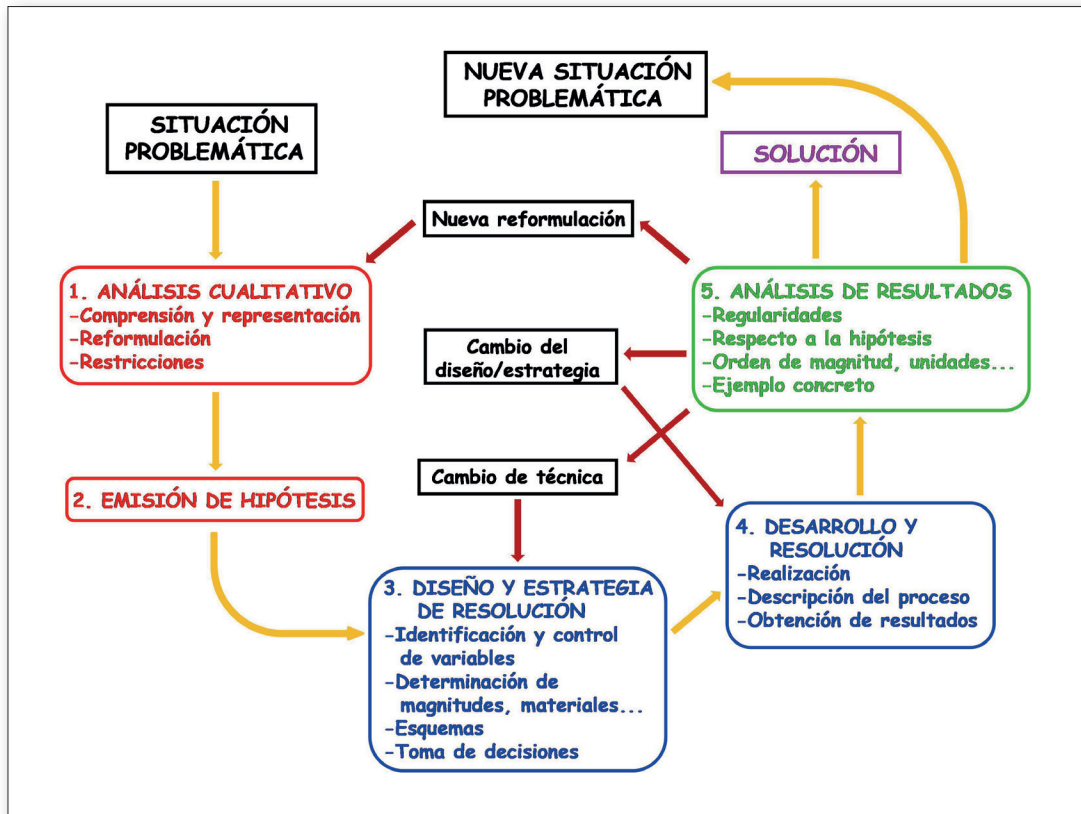


Fig. 1. Fases y características de la MRPI (Martínez-Aznar y Bárcena, 2013)

Cabe destacar que la MRPI ha sido aplicada con eficacia en diversos campos como la física, química o la biología y en niveles de enseñanza de primaria, secundaria e incluso en el ámbito de la formación inicial del profesorado (Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, 2020, 2016; Rosa y Martínez-Aznar, 2019; Bárcena, 2015; Pavón y Martínez-Aznar, 2014; Martínez-Aznar y Bárcena, 2013; Martínez-Aznar y Varela, 2009; Ibáñez y Martínez-Aznar, 2005).

OBJETIVO

La finalidad de la investigación es ampliar, en el ámbito de la química y el medioambiente y para alumnos de bachillerato, los datos empíricos que avalan los beneficios de la enseñanza basada en la resolución de situaciones problemáticas abiertas para el aprendizaje de la competencia científica. Además, se busca demostrar que este tipo de metodología permite a los alumnos resolver con éxito los problemas cerrados, habituales en las pruebas de evaluación tradicionales.

METODOLOGÍA

Este trabajo se sitúa dentro del paradigma investigación-acción y utiliza un diseño cuasiexperimental que estudia grupos intactos donde el control de variables es parcial según las características señaladas por Cook y Campbell (1979).

Hipótesis de investigación

Las hipótesis de la investigación se concretan en:

- Hipótesis 1: Los estudiantes del grupo experimental evolucionarán de forma estadísticamente significativa en el aprendizaje de la MRPI, lo que les permitirá alcanzar niveles de resolución más complejos, para cada una de las dimensiones competenciales y de verbalización, en la resolución de problemas abiertos.
- Hipótesis 2: Existirán diferencias estadísticamente significativas en la resolución de problemas cerrados a favor del grupo experimental que ha trabajado con la MRPI, respecto al grupo control que ha seguido una metodología tradicional.

Estudios y muestras

La experimentación se formaliza en dos cursos académicos diferentes, que a partir de ahora se denominan Estudio 1 (E1) y Estudio 2 (E2); este último supone una optimización de la unidad didáctica (UD) diseñada *ad hoc* para esta investigación. Las muestras implicadas son de tipo incidental y la validez es ecológica, pues se prima su representatividad frente al tamaño.

En esta investigación la variable independiente es la utilización o no de la MRPI, estudiándose así en cada estudio un grupo experimental (GEXP), que trabajará con esa metodología indagativa, frente a un grupo control (GCON), que lo hará con una de corte tradicional.

En todos los casos se trata de grupos intactos de alumnos de 1.º de bachillerato de ciencias de centros públicos de la comunidad autónoma de Madrid, y de nivel socioeconómico y cultural medio. En concreto, para el E1 todos los alumnos pertenecen a un mismo centro, de la población madrileña de Alcalá de Henares; el GEXP consta de 28 estudiantes (24 mujeres y 4 hombres, de edad media 16,5 años) y el segundo de 23 (13 mujeres y 10 hombres, de edad media 16,6 años). Para el E2, el GEXP consta de 30 alumnos de la población madrileña de Rivas-Vaciamadrid (5 mujeres y 25 hombres de edad media 16,6 años) y el GCON de 39 alumnos de la población de Torrejón de Ardoz (20 mujeres y 19 hombres, de 16,7 años de media). El cambio de población y centro se corresponde con el destino laboral de la profesora investigadora. Para la comparación de los grupos experimental y control se comprueba la premisa de homogeneidad mediante un cuestionario inicial sobre las concepciones alternativas cuyo análisis, mediante la U de Mann-Whitney, mostró homogeneidad en todas las respuestas dadas por los estudiantes en ambos estudios (Bárcena, 2015).

La unidad didáctica *Reacciones químicas y biomasa*

El trabajo con el GEXP se basa en la resolución de una serie de situaciones problemáticas que son planteadas y contextualizadas en la unidad didáctica (UD) *Reacciones Químicas y Biomasa* diseñada al efecto. Esta UD se centra en la resolución de situaciones problemáticas abiertas. Inicialmente, se diseñan doce problemas, y tras su implementación se eliminan dos, que abordaban contenidos similares y que no suponían ninguna aportación adicional valiosa para el aprendizaje de los estudiantes (tabla 1).

En la secuencia de los problemas se tienen en cuenta las concepciones alternativas y los contenidos curriculares, para que los conceptos surjan de forma consecutiva y se sustenten en otros trabajados y consolidados, lo que mejora la nueva resolución. En ambos estudios, tres de los problemas planteados son de carácter práctico experimental y el resto, de lápiz y papel.

Por las características de la temática, no habitual en los textos escolares, se elaboran materiales que los alumnos pueden consultar durante la resolución según sus necesidades (Bárcena, 2015).

Tabla 1.
Secuencia y enunciados de las situaciones problemáticas abiertas planteadas para ambos estudios

| Enunciados de problemas abiertos (Estudio 1) | Enunciados de problemas abiertos (Estudio 2) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1- ¿Qué molécula «tiene» mayor energía la de glucosa o la de oxígeno? | P1- El proceso de formación del agua ¿qué cantidad de energía requiere? |
| P2- ¿Quién tiene mayor energía de formación, el dióxido de carbono que asimila la planta durante la fotosíntesis o el oxígeno que desprende? | P2- Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de dióxido de carbono, ¿cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol? |
| P3- ¿Cómo representarías la reacción de formación de agua? | P3- ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos? |
| P4- Si una determinada planta la riegas y la introduces en un recipiente transparente y hermético que contiene una determinada cantidad de CO ₂ , ¿cuánta glucosa es capaz de elaborar la planta si la situamos al sol? | P4- ¿Se conserva la masa al quemar papel?* |
| P5- ¿Qué aporte de energía solar necesitan las plantas verdes para formar alimentos? | P5- ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz?* |
| P6- ¿Se conserva la masa al quemar papel?* | P6- ¿Cuánto aire necesitas para quemar etanol? |
| P7- ¿Cómo favorecerías la combustión de la madera?* | P7- Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un proceso de gasificación, un gas que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno, ¿cuánto metanol puedo obtener de ese gas? |
| P8- ¿Cuánto aceite combustible obtengo del maíz?* | P8- ¿Qué residuo me interesa más usar como combustible?* |
| P9- ¿Cuánto aire se necesita para quemar etanol? | P9- Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Éste es utilizado para obtener energía mediante combustión, ¿cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día? |
| P10- Con los restos de serrín de una industria maderera se obtiene, mediante un proceso de gasificación, un gas que contiene una cantidad determinada de monóxido de carbono y de hidrógeno ¿Cuánto metanol puedo obtener de ese gas? | |
| P11- Al descomponerse la materia orgánica de las basuras se obtiene un biogás que contiene metano. Este es utilizado para obtener energía mediante combustión, ¿cuánta energía se puede recuperar de la basura que generas cada día? | |

P_{Evaluación} (P12 E1 y P10 E2)- La mayoría de los coches de Brasil funcionan con etanol sin tener que modificar el motor del vehículo, ¿cuál es la contribución al efecto invernadero debido a la combustión de un depósito completo de uno de estos coches?

*Problema de diseño experimental

Metodología de aula

Para la resolución de los problemas, los estudiantes del GEXP utilizan los pasos de la metodología que se recogieron en la figura 1. En primer lugar, cada alumno realiza de forma individual una resolución en casa y luego en el aula, en grupos cooperativos de 5-6 alumnos, para consensuar una única resolución que exponen a toda la clase y que enriquece y favorece el aprendizaje de todos los estudiantes.

El desarrollo total de la UD requiere de 22 sesiones de 50 min para el E1 y 20 para el E2. En todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, la profesora lleva a cabo el andamiaje de los estudiantes individualmente, de los grupos cooperativos y de toda la clase, lo que favorece la efectividad del aprendizaje basado en problemas (Tawfik y Kolodner, 2016). Su intervención es principalmente como organizadora de las puestas en común de las ideas y como guía del aprendizaje de la MRPI y de los contenidos abordados.

En todo momento, para posibilitar la comparación de los aprendizajes expresada en la hipótesis 2, los profesores de los GEXP y GCON se coordinan para trabajar los mismos contenidos curriculares y asegurar una temporalización semejante (Bárcena, 2015).

Instrumentos de recogida de datos

La hipótesis 1 se contrasta a partir de las resoluciones individuales de las situaciones problemáticas de la UD. Para ello, se evalúan las dimensiones competenciales científicas (procedimientos 1 a 5 de la MRPI) y la dimensión de verbalización (competencia comunicativa científica), definida según el nivel de explicitación y elaboración de cada una de esas dimensiones. Esta última surge del proceso comunicativo que tiene lugar cuando en los grupos cooperativos los estudiantes exponen sus ideas y razonamientos que contrastan con el resto de los compañeros. Se utilizan plantillas de evaluación con niveles de concreción en un rango de 0-3. En el anexo 1 se recoge la plantilla general que se particulariza para cada una de las situaciones problemáticas planteadas.

Para contrastar la hipótesis 2, relativa a la resolución de problemas cerrados/ejercicios (PC), se recurre a una prueba de evaluación tradicional propuesta por el profesor del grupo control (anexo 2), corregida en subapartados en términos de la adecuación o no de la respuesta.

Además, como los PC planteados son una cadena de cuestiones, cada apartado se evalúa de forma independiente para no acumular los errores numéricos y así se considera solo el conocimiento o destreza desarrollado (por ejemplo, los cálculos estequiométricos bien realizados se dan por correctos, aunque la ecuación química esté previamente mal ajustada). Para recoger más información de la prueba, a la hora de la corrección se abren, en ciertas cuestiones, subapartados (a1, a2, etc.) que profundizan con detalle en el trabajo de los estudiantes.

Técnicas de análisis de datos

Para evaluar la evolución del aprendizaje del GEXP en la MRPI a través de los problemas abiertos (hipótesis 1), se utiliza el análisis de la varianza (ANOVA).

Primero se observa el test de la F, que permite identificar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre las valoraciones medias alcanzadas por los estudiantes en cada uno de los problemas y las variables analizadas, correspondientes a los procedimientos o dimensiones competenciales científicas estudiadas. Posteriormente, se comparan cada una de las valoraciones medias obtenidas por los alumnos en los problemas mediante el test de medias de rangos múltiples, correspondiente a un diseño factorial (test de Tukey) que, además de permitir el contraste entre ellas, determina entre cuáles hay una diferencia significativa que pueda indicar un salto importante en el aprendizaje logrado por los estudiantes o una diferencia entre el nivel de aprendizaje realizado en las distintas variables.

Para contrastar las diferencias entre el GEXP y GCON respecto a la resolución de problemas cerrados/ejercicios en el momento final (hipótesis 2) se utiliza el test de la U de Mann-Whitney. En este caso, la hipótesis nula es que ambos grupos son homogéneos en sus resoluciones, frente a la alternativa de que el GEXP es significativamente mejor. Se pretende demostrar que, al final del proceso de enseñanza-aprendizaje, ambos grupos no solo presentan una diferencia significativa en los aprendizajes realizados, sino que esta es a favor del GEXP.

RESULTADOS

Este apartado se estructura siguiendo las hipótesis planteadas.

Hipótesis 1

Los datos recogidos sobre la resolución de las situaciones problemáticas abiertas se han analizado cuantitativamente en relación con:

1. El aprendizaje global para cada dimensión competencial científica (DC) y de verbalización/comunicación científica (DCV) para todos los estudiantes, y
2. la evolución de los aprendizajes para cada dimensión competencial a lo largo de la secuencia de los problemas y la comparación entre ellas.

Para el primer aspecto, y según los datos recogidos en la tabla 2, se observa que se rechaza la hipótesis nula para todos los factores contemplados en E1 y E2, por lo que se confirma la hipótesis alternativa de que existen diferencias estadísticamente significativas, entre los valores medios de los niveles de competencia alcanzados por los estudiantes del GEXP, para el conjunto de todos los problemas abiertos y para cada dimensión de la competencia científica abordada.

Tabla 2.
Resultados obtenidos en el test de la F
(diferencias entre los valores medios por niveles)

| DIFERENCIAS ENTRE LOS VALORES MEDIOS POR NIVELES | | | | | | | |
|--------------------------------------------------|-----------|----------------------------|----------------------|--------------------------|------------|------------------------|---------------|
| | PROBLEMAS | DIMENSIONES COMPETENCIALES | | | | | |
| | | DC1 | DC2 | DC3 | DC4 | DC5 | DCV |
| | | Análisis cualitativo | Emisión de hipótesis | Estrategia de resolución | Resolución | Análisis de resultados | Verbalización |
| ESTUDIO 1 | 56,28*** | 12,46*** | 16,66*** | 11,90*** | 20,84*** | 15,59*** | 29,34*** |
| ESTUDIO 2 | 44,00*** | 17,80*** | 11,64*** | 8,45*** | 13,90*** | 7,93*** | 31,10*** |

Los valores apoyan la hipótesis alternativa de diferencias significativas dentro de cada uno de los factores (*** $p < 0,001$).

Para el segundo análisis, se muestra en la figura 2 las gráficas de la evolución que se produce a lo largo de toda la sucesión de problemas, es decir, del desarrollo completo de la UD. Para ello se utiliza un análisis multifactorial ANOVA, en el que se representan los valores medios por niveles obtenidos en las distintas dimensiones competenciales para cada problema y en cada estudio.

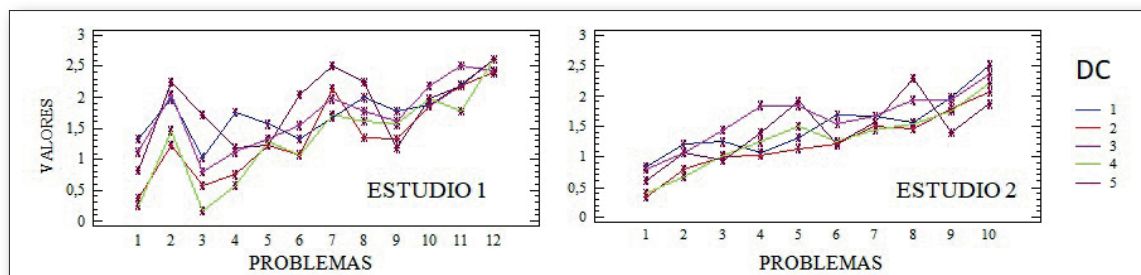


Fig. 2. Evolución de los valores medios obtenidos en las distintas dimensiones competenciales científicas (DC1 a DC5) para ambos estudios.

Estos resultados indican que se produce un aprendizaje a lo largo del proceso de resolución de problemas, en todas las dimensiones investigadas. Aunque los problemas finales son más complejos que los iniciales, también los estudiantes van adquiriendo más destreza en la resolución, por lo que las líneas de las gráficas son, en general, progresivas en su ascenso. Este hecho se da también en otras metodologías indagativas (Johnson y Johnson, 2008) y en otras investigaciones con la MRPI en ecología y genética (Rosa y Martínez-Aznar, 2019; Martínez-Aznar e Ibáñez, 2005).

En las gráficas se detectan pequeñas recaídas, las más importantes en el E1 tienen lugar en P3 y P9, y en el E2, aunque más suaves, en P6 y P9. Estas se justifican por el cambio de contenido, lo que concuerda con los estudios en ecología y genética. El descenso del P3 parece deberse menos a la representación microscópica de una molécula sencilla (agua) que a su tratamiento como una situación problemática que resolver. Además, cuando en el E1 se proponen tres problemas seguidos de corte experimental (P6, P7 y P8) el cambio a lápiz y papel en el P9 ocasiona otra caída. Por eso, aunque el P9 es aparentemente un problema más sencillo que los siguientes, muestra un peor resultado. Así, en el E2 se eliminan los problemas de contenido repetitivo y se reduce su número, por ejemplo, el P3, cuyo contenido se puede desarrollar en el resto de los problemas; y se alternan los de naturaleza diferente, para evitar que los alumnos establezcan patrones en sus resoluciones. El éxito de los cambios se refleja en la progresión de la gráfica del estudio final.

El análisis cuantitativo de los gráficos muestra que el aprendizaje logrado en relación con las dimensiones competenciales analizadas alcanza niveles de resolución altos en todas ellas, y estadísticamente significativos respecto al momento inicial (entre 2,4 y 2,6 para E1 y entre 1,8 y 2,5 para E2, en una valoración de 0 a 3). Cabe distinguir que la mejor valorada en ambos estudios es la DC1 (2,6 y 2,5 respectivamente), lo que concuerda con los resultados sobre ecología. En el E1, los valores son muy cercanos para todas las dimensiones, solo ligeramente inferiores para la DC2 y DC3, y para el E2 se diferencian algo más, con los peores resultados para la DC5 (1,8 puntos), lo que coincide con las investigaciones mencionadas anteriormente de ecología y de genética y también con otras de física (Varela, 1994).

En cuanto a la evolución de las dimensiones, el hecho de que en el momento final los valores de todas ellas sean altos pero muy cercanos condiciona que su evolución y valores medios dependan de los valores iniciales. Así, las peor puntuadas en el momento inicial (DC2 y DC4) presentan la mayor progresión, aunque sus valores medios son los más bajos, la menor evolución y los valores medios más elevados se dan en las que partían de valores más altos (DC1 y DC3).

Los valores iniciales tan bajos de la DC2 indican la dificultad que supone para los alumnos el planteamiento de hipótesis, de acuerdo con lo señalado para química por Reyes (1991) y para mecánica y electricidad por Varela (1994), donde es la dimensión que menos evoluciona. La diferencia con genética y ecología se hace patente, pues la DC2 obtiene valores elevados desde el principio, lo que muestra que, en estas materias más cercanas a su realidad, los alumnos plantean más fácilmente hipó-

tesis. También son similares con física los valores bajos de la DC4, resolución del problema, lo que de nuevo difiere de los valores presentados en genética.

Para la dimensión DC5, análisis de los resultados, los valores diferenciados de los dos estudios complican su análisis. Aun siendo la peor valorada en ambos, difieren en que es la que más evoluciona en el E1 (alrededor de 1,8 puntos) y la que menos lo hace en el E2 (sobre 1,2 puntos).

En lo que respecta a la dimensión competencial de la verbalización (figura 3), se observa una progresión continua en ambos estudios, se parte de una competencia inicial muy baja, con frases cortas y explicaciones poco elaboradas, en muchos casos reproduciendo fórmulas o conceptos, pero alcanza unos niveles de elaboración elevados, con explicaciones amplias y desarrollos personales adecuados a la resolución.

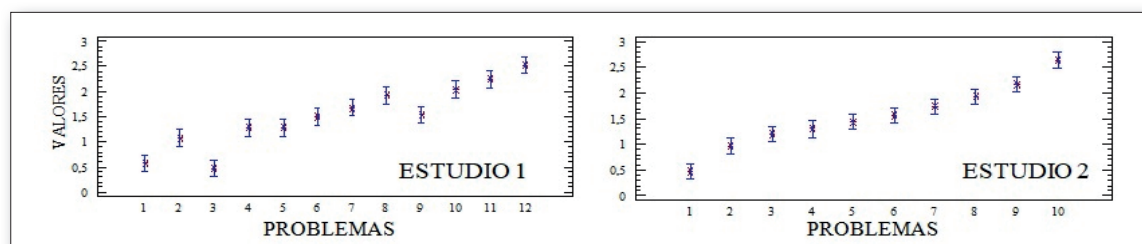


Fig. 3. Evolución de los valores medios obtenidos en la dimensión competencial de verbalización en ambos estudios.

Hipótesis 2

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos por los estudiantes de los GEXP y GCON en las pruebas de problemas cerrados propuestos, que se recogen en el anexo 2.

A partir de estos datos se puede observar que:

- En ambos estudios se obtienen diferencias estadísticamente significativas a favor de los GEXP en la mayor parte de las cuestiones relacionadas con la escritura y el ajuste de las ecuaciones químicas, trabajadas en los primeros apartados (a) de las preguntas 1, 2 y 3. En concreto, son significativamente mejores en ambos estudios las respuestas dadas a las preguntas 2 (subapartado a1) y 3 (subapartado a1); y en el E2, a la pregunta 1 (subapartado 1a). No se aprecian diferencias significativas en la 1 del E1 (subapartado 1a), la única pregunta en la que se solicita explícitamente la escritura y el ajuste de la reacción, es decir, no es consecuencia de la propia decisión del alumno como parte necesaria en la resolución del problema propuesto.
- También son estadísticamente significativas las diferencias en los resultados obtenidos para la realización de cálculos estequiométricos relativos a la cantidad de sustancia, las moléculas, las masas o los volúmenes: 1(b, c y d), 2(b y c) y 3(a2, b y c) para E1, y 1(b) y 2(b) para E2.
- En cuanto a la identificación de reactivos limitantes y en exceso, cuestión 2 (subapartados a2 y a3) para ambos estudios, y la realización de cálculos partiendo de estas cantidades (a3 y b del E1 y 2(b) del E2), los resultados son favorables al GEXP.
- Asimismo, son significativamente mejores las respuestas dadas para la realización de cálculos energéticos, (3b) exclusiva del E2, aunque el ajuste previo de esta ecuación termoquímica no muestra diferencias estadísticamente significativas (3a2).

Tabla 3.
 Resultados obtenidos en la prueba de problemas cerrados (PC) para ambos estudios

| PC 1 | | GEXP (28 al.) | | GCON (23 al.) | | U Mann-Whitney |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|------------------|------|----------------|
| | | N.º | % | N.º | % | |
| 1. Cuando el cloro reacciona con el nitrato de plata forma cloruro de plata, pentóxido de nitrógeno y oxígeno. | a) Escribe y ajusta | 22 | 78,6 | 15 | 65,2 | 279 |
| | b) ¿Cuántos moles de N ₂ O? | 24 | 85,7 | 14 | 60,9 | 242** |
| | c) ¿Cuántos g de AgCl...? | 24 | 85,7 | 13 | 56,5 | 228*** |
| | d) ¿Qué V de oxígeno...? | 24 | 85,7 | 7 | 30,4 | 144*** |
| 2. Una mezcla de 5 g hierro y 4 g azufre se calienta para dar sulfuro de hierro (II). | a) ¿Qué reactivo está en exceso? | 24 | 85,7 | 12 | 52,2 | 214*** |
| | a1. Ajuste de la reacción | 27 | 96,4 | 11 | 47,8 | 166*** |
| | a2. Reconoce el reactivo en exceso/limitante | 19 | 67,9 | 9 | 39,1 | 230* |
| | a3. Calcula el exceso | 21 | 75,0 | 11 | 47,8 | 234* |
| | b) ¿masa de FeS se formará? | | | | | |
| 3. El amoníaco reacciona con el oxígeno para formar monóxido de nitrógeno y agua. | a) V de O ₂ en c.n. para quemar 25 L de NH ₃ | | | | | |
| | a1. Ajuste de reacción | 18 | 64,3 | 9 | 39,1 | 241** |
| | a2. Cálculo de volumen | 22 | 78,6 | 13 | 56,5 | 251** |
| | b) V de NO, 20 °C y 0,97 atm | 20 | 71,4 | 9 | 39,1 | 218*** |
| | c) Masa de agua obtenida al quemarlos | 20 | 71,4 | 11 | 47,8 | 204*** |
| PC 2 | | GEXP (28 al.) | | GCON (23 al.) | | U Mann-Whitney |
| | | N.º | % | N.º | % | |
| 1. La reacción de 500 g de pirita que posee un 40 % de FeS ₂ produce la siguiente reacción: FeS ₂ (s) + Oxígeno(g) → óxido de hierro (III) (s) + dióxido de azufre(g) | a) Escribe y ajusta la ecuación | 25 | 83,3 | 22 | 56,4 | 427,5*** |
| | b) Calcula el volumen de dióxido de azufre desprendido en c.n. | 21 | 70,0 | 15 | 38,5 | 400,5*** |
| 2. El ácido clorhídrico reacciona con el calcio y da cloruro de calcio e hidrógeno. Si se añadieron 2 litros de ácido de concentración 0,3 M a 20 moles del alcalinotérreo, Indica: | a) ¿Cuál es el reactivo limitante? | | | | | |
| | a1. Ajuste de la reacción | 23 | 76,7 | 17 | 43,6 | 391,5*** |
| | a2. Reconoce el reactivo en exceso/limitante pero no lo justifica | 27 | 90,0 | 23 | 59,0 | 403,5*** |
| | a3. Reconoce y justifica el reactivo limitante | 12 | 40,0 | 6 | 15,4 | 441,0*** |
| | b) ¿Cuántas moléculas de sal se han obtenido? | 17 | 56,7 | 12 | 30,8 | 433,0*** |
| 3. En el proceso en el que el monóxido de carbono reacciona con el hidrógeno para dar metanol (CH ₃ OH) se desprenden 125 kJ/mol de metanol. | a) Escribir y ajustar la ecuación termoquímica. | | | | | |
| | a1. Ajuste de la reacción química, sin contar energía | 26 | 86,7 | 23 | 59,0 | 423,0*** |
| | a2. Ajuste de la reacción termoquímica, con entalpía | 7 | 23,3 | 12 | 30,8 | 628,5 |
| | b) Si se añaden 89,6 litros de hidrógeno medidos a 40°C y 4 atm ¿Cuál es la cantidad de calor generada? | 19 | 63,3 | 13 | 33,3 | 409,0*** |

Los valores del estadístico con asteriscos apoyan la hipótesis alternativa de que el GEXP es significativamente mejor que el GCON (**p < 0,001, *p < 0,01, p < 0,05).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados presentados y para la hipótesis 1, se puede afirmar que la metodología de enseñanza implementada en los grupos experimentales ha resultado eficaz, pues los estudiantes:

- Han evolucionado de forma estadísticamente significativa hacia niveles más complejos de resolución en el desempeño de las dimensiones competenciales científicas y de comunicación, implicadas en la propia MRPI.
- Han transferido la metodología aprendida de un tipo de problema a otro, tanto experimentales como de lápiz y papel, y presentan una evolución estadísticamente significativa a lo largo de toda la sucesión de las situaciones problemáticas abiertas planteadas.

Por otra parte, en cuanto a la resolución de problemas cerrados, hipótesis 2, se ha comprobado la eficacia de la MRPI, pues:

- El aprendizaje realizado por los estudiantes de los grupos experimentales, a través de la metodología investigativa utilizada, les capacita para resolver con éxito problemas cerrados, aunque no hayan sido entrenados específicamente para ello, más allá de su posible concreción en la DC5.
- Los alumnos de los grupos experimentales logran un mejor desempeño en la resolución de problemas cerrados de química (escritura y ajuste de una ecuación química, cálculos estequiométricos, identificación de reactivo limitante y cálculos energéticos) que los alumnos de los grupos control, que han desarrollado una metodología de enseñanza basada, exclusivamente, en la resolución de este tipo de ejercicios.

Estos resultados son acordes con los aportados en otras investigaciones en los que también los estudiantes que han trabajado con la MRPI resuelven con éxito problemas cerrados habituales de genética, ecología y física (Rosa y Martínez-Aznar, 2019; Ibáñez y Martínez-Aznar, 2005; Varela, 1994). Se ha mostrado también cómo la selección de las situaciones problemáticas contextualizadas de la unidad didáctica resulta eficaz a la hora de lograr el éxito en el aprendizaje de los estudiantes, corroborando lo expuesto en otras investigaciones (McDowell, 2019; González y Crujeiras, 2016).

Como conclusión, los resultados empíricos aportados apoyan las investigaciones que afirman que la utilización de métodos indagativos guiados son eficaces para el aprendizaje de las ciencias (Aditomo y Klieme, 2020). En este caso, se muestra cómo resultan valiosos para el aprendizaje de destrezas de resolución de problemas de química, tanto de tipo abierto como cerrado, aun sin entrenamiento específico para estos últimos. Ello puede deberse al desarrollo de procesos cognitivos esenciales (Furtak et al., 2012), como la capacidad para explorar, comprender un problema, interpretarlo, planificarlo y reflexionar sobre su resolución, o los resultados que se favorecen con estrategias de comunicación, verbal y escrita (Duschl, 2008). Es decir, la MRPI resulta ser beneficiosa en el desarrollo por parte de los alumnos de la competencia científica, a través de la construcción de contenidos conceptuales y procedimentales presentes en los currículos escolares.

Esta investigación, junto con los resultados de otras ya mencionadas en el ámbito de la MRPI, permite afirmar que esta metodología es adecuada para una enseñanza- aprendizaje de calidad, independientemente del nivel y la disciplina. Es eficaz en el desarrollo de la competencia científica, frente a las dudas de ciertos autores sobre la efectividad de la indagación (Cairns y Areepattamannil, 2019; Cobern et al., 2010), y además demuestra que los alumnos son capaces de hacer frente con buenos resultados a exámenes tradicionales en contra de lo sugerido por otros autores (Jerrima, Oliverb y Sims, 2019). Por ello, y por las dificultades que presentan los métodos indagativos para implementarse en el aula de forma relevante, se debe hacer hincapié en la necesidad de desarrollar nuevos materiales y de comunicar las experiencias realizadas en diferentes contenidos y ámbitos, para posibilitar el cambio metodológico en las aulas.

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>
- Aditomo, A. y Klieme, E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes: evidence from high and lowperforming education systems. *International Journal of Science Education*, 42(4), 504-525.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1716093>
- Aguilera, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, A., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en la indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381, 249-274.
<https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- 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.
- Blanco, A., España, E. y Rodríguez, F. (2012). Contexto y enseñanza de la competencia científica. *Alambique*, 70, 9-18.
- Caamaño, A. (2011). Enseñar química mediante la contextualización. *Alambique*, 69, 21-34.
- Cairns, D. y Areepattamannil, S. (2019). Exploring the relations of inquiry-based teaching to science achievement and dispositions in 54 countries. *Research in Science Education*, 49(1), 1-23.
<https://doi.org/10.1007/s11165-017-9639-x>
- Coburn, W. W., Schuster, D., Adams, B., Applegate, B., Skjold, B., Undrieu, A., Loving, C. C. y Gorbett, J. D. (2010). Experimental comparison of inquiry and direct instruction in science. *Research in Science y Technological Education*, 28(1), 81-96.
- Cook, T. D. y Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation. Design and analysis. Issues for field settings*. Chicago: Rand McNally.
- Crujeiras, B. y Jiménez Alexandre, 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>
- Dabbagh, N, y Blijd, C. W. (2010). Students' perceptions of their learning experiences in an authentic instructional design context. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 4(1), 6-29.
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1092>
- Duit, R. y Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
<https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32, 268-291.
<https://doi.org/10.3102%2F0091732X07309371>
- Edelson, D. C., Gordin, D. N. y Pea, R. D. (1999). Addressing the challenges of Inquiry-Based Learning through technology and curriculum design. *The Journal of the Learning Sciences*, 8(3 y 4), 391-450.
<https://doi.org/10.1080/10508406.1999.9672075>

- 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).
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1339>
- Franco-Mariscal, A. J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 231-252.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1645>
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. y Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329.
<https://doi.org/10.3102%2F0034654312457206>
- Gaigher, E., Lederman, N. y Lederman, J. (2014). Knowledge about Inquiry: A study in South African high schools. *International Journal of Science Education*, 36(18), 3125-3147.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2014.954156>
- González Rodríguez, L. y Crujeiras Pérez, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 143-160.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2018>
- Hazelkorn, E. (2015). *Science Education for Responsible Citizenship*. Bruselas: Comisión Europea.
- Hogan, K. (2002). Small groups' ecological reasoning while making an environmental management decision. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(4), 341-368.
<https://doi.org/10.1002/tea.10025>
- Hung, W., Jonassen, D. H. y Liu, R. (2008). Problem-Based Learning. En J. M. Spector, M. D. Merrill, J. V. Merriënenderboer, M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, 485-506. Nueva York: LEA Taylor y Francis.
- Ibáñez Orcajo, T. y Martínez-Aznar, M. M. (2005). Solving Problems in Genetics II: Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495-1519.
<https://doi.org/10.1080/09500690500186584>
- INEE (2014). Los resultados españoles en la resolución de problemas de la prueba PISA 2012. *Boletín de educación Educaine*, 31. Madrid: MECED.
- INEE (2013a). *PISA 2012. Programa para la evaluación internacional de los alumnos. Informe español. Volumen I: Resultados y contexto*. Madrid: MECED.
- INEE (2013b). *PISA 2012. Programa para la evaluación internacional de los alumnos. Informe español. Volumen II: Análisis secundario*. Madrid: MECED.
- Jerrima, J., Oliverb, M. y Sims, S. (2019). The relationship between inquiry-based teaching and students' achievement. New evidence from a longitudinal PISA study in England. *Learning and Instruction*, 61, 35-44.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101310>
- Johnson, D. W. y Johnson, R. T. (2008). Cooperation and use of technology. En J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Van Merriënboer, M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*, 401-4023. Nueva York: Routledge.
- 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>
- Keys, C. W. y Bryan, L. A. (2001). Co-Constructing Inquiry-Based Science with Teachers: Essential Research for Lasting Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.
<https://doi.org/10.1002/tea.1023>

- Kim, N., Belland, B. R. y Axelrod, D. (2019). Scaffolding for Optimal Challenge in K–12 Problem-Based Learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 13(1).
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1712>
- Lazonder, A. W. y Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based. Learning Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 20(10), 1-38.
<https://doi.org/10.3102%2F0034654315627366>
- Letina, A. y Dikovic, M. (2012). *Problem-Based Teaching vs. Programmed Teaching: Challenges for the Future of Education* (2.ª ed.). International Conference «The future of Education».
- Lorenzo Rial, M. A., Álvarez Lires, M. M., Arias Correa, A. y Pérez Rodríguez, U. (2019). Aprender a interpretar la acidificación oceánica con recursos on-line y experimentación contextualizada. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 189-208.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2564>
- Lupión, T. y Prieto, T. (2007). El desarrollo de competencias para la educación ciudadana mediante el tema de la contaminación. *Alambique*, 54, 7-15.
- Martínez-Aznar, M. M. y Bárcena Martín, A. I. (2013). Una actividad de indagación en un aula de diversificación: ¿Es beneficioso masticar bien para realizar una buena digestión? *Educació Química*, 14, 19-28.
- Martínez-Aznar, M.ª M. y Varela, M.ª P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 343-360.
- Martínez-Aznar, M.ª M. e Ibáñez, M.ª T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101-121.
- McDowell, L. D. (2019). The roles of motivation and metacognition in producing self-regulated learners of college physical science: a review of empirical studies. *International Journal of Science Education*, 41(17), 2524-2541.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1689584>
- Minner, D. D., Levy, A. J. y Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction. What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
<https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- OCDE (2006). *Evolution of student interest in Science and Technology studies: Policy report*. París: OECD Global Science Forum.
- OCDE (2013). ¿Qué piensan los estudiantes sobre la escuela? *PISA in focus*, 24, 1-4.
- Pavón Martínez, F. y Martínez Aznar, M.ª M. (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://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1290>
- Pease, M. A. y Kuhn, D. (2011). Experimental Analysis of the effective components of Problem-Based Learning. *Science Education*, 95, 57-86.
<https://doi.org/10.1002/sce.20412>
- Pérez Vidal, D. y Crujeiras Pérez, B. (2019). Desempeños del alumnado de Educación Secundaria en la evaluación de una investigación científica en el contexto de la industria láctea. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 5-23.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2544>
- Prince, M. y Felder, R. M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 13-138.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>

- Prince, M. y Felder, R. M. (2007). The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14-20.
- Quezco, F. V. (2019) Metacognitive Skills in Problem-Solving among Senior High School STEM Strand Students. *Institutional Multidisciplinary Research and Development Journal*, 2, 125-129.
- Reyes, J. V. (1991). *La resolución de problemas en Química como investigación: una propuesta didáctica basada en el cambio metodológico* (tesis doctoral). Universidad del País Vasco.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Heriksson, H. y Hemmo, V. (2007). *Informe Rocard. Science Education Now: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Bruselas: European Commission.
- Rodríguez-Arteche, I. y Martínez-Aznar, M.^a M. (2020). De la indagación experimental a la modelización de la reacción química. En A. Caamaño (Coord.), *Enseñar química. De las sustancias a la reacción química* (pp. 159-169). Barcelona: Editorial Graó.
- Rodríguez Arteche, I. y Martínez-Aznar, M.^a M. (2016). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. *Journal of Chemical Education*, 93, 1528-1535.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b01037>
- Romero-Álvarez, J. G., Rodríguez-Castillo, A. y Gómez-Pérez, J. (2008). Evaluación de escenarios para el aprendizaje basado en problemas (ABP) en la asignatura de química de bachillerato. *Educación química*, 19(3), 196-200.
- Rosa Novalbos, D. y Martínez-Aznar, M. M. (2019). Resolución de problemas abiertos en ecología para la ESO. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 25-42.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2541>
- Sandoval, W. A. (2004). Developing learning theory by refining conjectures embodied in educational designs. *Educational Psychologist*, 39(4), 213-223.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep3904_3
- Tawfik, A. A. y Kolodner, J. L. (2016). Systematizing Scaffolding for Problem-Based Learning: A View from Case-Based Reasoning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 10(1).
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1608>
- Turns, J., Cuddihy, E. y Guan, Z. (2010). I thought this was going to be a waste of time: How portfolio construction can support student learning from project-based experiences. *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 4(2), 63-93.
<https://doi.org/10.7771/1541-5015.1125>
- Varela, M. P. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos* (tesis doctoral). Universidad Complutense, Madrid.
- Vosniadou, S. (2008). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Londres / Nueva York: Routledge.

ANEXO 1

GUÍA GENERAL DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LAS DIMENSIONES COMPETENCIALES

| <i>DIMENSIONES COMPETENCIALES</i> | <i>NIVEL</i> | <i>CONCRECIÓN</i> |
|---------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DC1 Análisis cualitativo del problema | Nivel 0 | <i>El análisis es prácticamente nulo, inconexo o sin sentido en la situación que se estudia.</i> |
| | Nivel 1 | <i>El análisis de la situación es poco profundo, estudiando tan solo algunos de los aspectos implicados.</i> |
| | Nivel 2 | <i>Se analizan varios aspectos implicados, pero de manera escasa.</i> |
| | Nivel 3 | <i>Se analizan en profundidad las situaciones problemáticas posibles. Además, se proponen restricciones.</i> |
| DC2 Emisión de hipótesis | Nivel 0 | <i>No se plantea ninguna hipótesis de trabajo o no se ajusta al problema planteado.</i> |
| | Nivel 1 | <i>Se plantean hipótesis sin concretar relaciones.</i> |
| | Nivel 2 | <i>Se plantean hipótesis con relaciones adecuadas, aunque no se enuncian correctamente.</i> |
| | Nivel 3 | <i>Se plantea una hipótesis clara de trabajo y se expresa correctamente.</i> |
| DC3 Elaboración de estrategia resolución | Nivel 0 | <i>No se plantea ninguna estrategia o no es coherente.</i> |
| | Nivel 1 | <i>Se proponen estrategias que no concuerdan con la hipótesis.</i> |
| | Nivel 2 | <i>Se elabora una estrategia correcta pero no la explican suficientemente.</i> |
| | Nivel 3 | <i>Se explica claramente y de forma extensa la estrategia de trabajo. Incluso identifican y controlan las variables que intervienen.</i> |
| DC4 Resolución del problema | Nivel 0 | <i>No se realiza ninguna resolución.</i> |
| | Nivel 1 | <i>Se indican los pasos a seguir en su resolución, pero no se acompañan de ningún desarrollo.</i> |
| | Nivel 2 | <i>Se propone una resolución, pero alguno de los pasos falta o se cierra ya el problema sustituyendo algunos valores.</i> |
| | Nivel 3 | <i>Se realiza una resolución completa, indicando las ecuaciones a utilizar en cada paso e incluso realizando todos los pasos para llegar a una fórmula teórica final. Indican que hay que comparar al final.</i> |
| DC5 Análisis de los resultados | Nivel 0 | <i>No se realiza ningún análisis.</i> |
| | Nivel 1 | <i>Se propone en el análisis un problema mal resuelto.</i> |
| | Nivel 2 | <i>Se realiza un análisis correcto, pero no se ajusta completamente a su hipótesis.</i> |
| | Nivel 3 | <i>Se realiza el análisis correctamente respecto a su hipótesis. También se realizan conclusiones personales.</i> |
| DCV Variable de verbalización | Nivel 0 | <i>NULA O MÍNIMA: El nivel de explicitación y elaboración es nulo o mínimo. El análisis es una reproducción de conceptos teóricos sin ninguna elaboración propia. La resolución, si la hace, se limita a escribir fórmulas y sustituir datos numéricos.</i> |
| | Nivel 1 | <i>ESCASA O INSUFICIENTE: En al menos una o dos de las variables metodológicas se intenta elaborar explicaciones y desarrollos personalizados, pero lo logra en un nivel mínimo o no se acomoda claramente a la situación planteada.</i> |
| | Nivel 2 | <i>SATISFACTORIA: En tres o cuatro de las variables metodológicas se realiza un desarrollo claro y una explicación suficiente de la situación planteada.</i> |
| | Nivel 3 | <i>EXTENSA: En al menos cuatro variables se alcanza el nivel máximo de elaboración, con explicaciones completas y claras y desarrollos personales originales y adecuados a la situación planteada.</i> |

ANEXO 2

PRUEBAS DE PROBLEMAS CERRADOS

| <i>Enunciados de problemas cerrados para Estudio 1 PC1</i> | <i>Enunciados de problemas cerrados para Estudio 2 PC2</i> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. Cuando el cloro gaseoso (Cl₂) reacciona con el nitrato de plata, se forma cloruro de plata, pentóxido de dinitrógeno y oxígeno gaseoso (O₂). Se pide:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Escribe y ajusta la reacción química que tiene lugar</i> <i>¿Cuántos moles de pentóxido de dinitrógeno se obtendrán a partir de 6 moles de nitrato de plata?</i> <i>¿Cuántos gramos de cloruro de plata se obtendrán a partir de 33,974 g de nitrato de plata?</i> <i>¿Qué volumen de oxígeno gaseoso se desprende en el apartado anterior si se mide a 12°C y 799mm de Hg?</i> <p>DATOS: Masas atómicas: Ag = 107,87; N = 14,00; O = 16,00; Cl = 35,45</p> <p>2. Una mezcla de 5 g de hierro (Fe) y 4 g de azufre (S) se calienta en una cápsula de porcelana hasta la producción de sulfuro de hierro (II). Calcula:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>¿Qué reactivo se encuentra en exceso? ¿En qué cantidad?</i> <i>¿Qué masa de FeS se formará?</i> <p>DATOS: Masas atómicas: S = 32,00; Fe = 55,85</p> <p>3. El amoníaco reacciona con el oxígeno para formar monóxido de nitrógeno y agua (todas las especies gaseosas). Determina:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>El volumen de oxígeno en condiciones normales que se necesita para quemar 25 litros de amoníaco en las mismas condiciones.</i> <i>El volumen de monóxido de nitrógeno medido a 20 °C y 0,97 atm obtenido al quemar esa cantidad de amoníaco.</i> <i>La masa de agua obtenida al quemar los 25 litros de amoníaco.</i> <p>DATOS: Masas atómicas: N = 14,00; O = 16,00; H = 1,01</p> | <p>1. La reacción de 500 g de pirita que posee un 40 % de FeS produce la siguiente reacción:</p> $\text{FeS (s) + Oxígeno (g)} \rightarrow \text{óxido de hierro (III) (s) + dióxido de azufre(g)}$ <ol style="list-style-type: none"> <i>Escribe y ajusta la ecuación.</i> <i>Calcula el volumen de dióxido de azufre desprendido en c. n.</i> <p>2. El ácido clorhídrico reacciona con el calcio y da cloruro de calcio e hidrógeno. Si se añadieron 2 litros de ácido de concentración 0,3M a 20 moles del alcalinotérreo, indica:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>¿Cuál es el reactivo limitante?</i> <i>¿Cuántas moléculas de la sal se han obtenido?</i> <p>3. En el proceso en el que el monóxido de carbono reacciona con el hidrógeno para dar metanol (CH₃OH) se desprenden 125 kJ/mol de metanol.</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Escribir y ajustar la ecuación termoquímica.</i> <i>Si se añaden 89,6 litros de hidrógeno medidos a 40 °C y 4 atm, ¿cuál es la cantidad de calor generada?</i> <p>DATOS: M(S)= 32 g·mol⁻¹ M (H)= 1 g·mol⁻¹ M(O)= 16 g·mol⁻¹ M(Fe)= 54,5 g·mol⁻¹ M(C)=12 g·mol⁻¹</p> |

Inquiry about Chemistry Reactions and Development of Scientific Competence

Ana Isabel Bárcena Martín, 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

anabarce@ucm.es, mtzaznar@ucm.es

This paper is aimed to provide evidence that supports the effectiveness of an inquiry problem-solving methodology for both general learning of scientific competence and specific skills in order to solve closed problems that are common in traditional teaching. The quasi-experimental designed research is carried out by students from first grade of Bachelor (eleventh grade) in public high schools in the Community of Madrid (Spain) with an average age of 16.6 years. An experimental group (GEXP), which deals with curricular contents of chemical reactions through an inquiry methodology, the problem-solving methodology as an investigation (PSMI), is compared with a control group (GCON) that follows a traditional methodology. The GEXP works on a series of open problems that integrate a didactic unit (UD) designed *ad hoc* for this research *Chemical Reactions and Biomass*, which is contextualized in biomass energy as an encouragement for learning. The resolution of these challenges is divided in five stages or procedures that correspond to dimensions of the scientific competence: qualitative analysis of problem situation (DC1), hypothesis statement (DC2), development of resolution strategies (DC3), problem solving (DC4) and analysis of results (DC5). In addition, the verbalization associated with the whole process carried out by the students is analyzed.

On the one hand, this study analyzes the evolution in learning by GEXP students in the development of competence dimensions involved in the resolution process with PSMI, along with their skill in solving closed-ended problems in comparison with the GCON, which has followed a traditional methodology.

Based on the results, we can state that the GEXP students evolve in a statistically significant way towards more complex levels of resolution in the performance of the scientific competence dimensions (DC1 to DC5) and verbalization, all of them implicit in the PSMI. They can transfer the learned methodology from one type of open problem to another, whether experimental or pencil and paper, and they present a statistically significant evolution throughout newly proposed open-ended problem situations.

In addition, all students can adequately solve closed-ended problems and the comparison GEXP/GCON shows that the learning carried out by the GEXP students enables them to successfully solve closed-ended problems, and with better results than those in the GCON, relative to questions about writing and balancing a chemical equation, stoichiometric calculations, identification of limiting reagent or energy calculations.

In conclusion, the empirical results obtained in this work support previous studies that suggest that the use of guided inquiry methods is effective for science learning and the development of scientific competence, and shows that students, even in the high school higher levels, are able to face traditional exams successfully, contrary to the suggestions made by certain authors.

