



Concepción de un recurso didáctico para introducir las fórmulas químicas en secundaria

Design of a didactical resource to introduce chemical formulas in secondary school

Sophie Canac

Université Paris Est Créteil, Laboratoire de didactique André Revuz, F-94000 Créteil, France

Universités de Paris, Artois, Cergy-Pontoise, UNIROUEN

sophie.canac@u-pec.fr

Isabelle Kermen

Université d'Artois, Laboratoire de didactique André Revuz, F-62300 Lens, France

Universités de Paris, Cergy-Pontoise, Paris Est Créteil, UNIROUEN

isabelle.kermen@univ-artois.fr

RESUMEN • En este artículo se exponen las investigaciones que se llevaron a cabo con el objetivo de elaborar un recurso didáctico para introducir las fórmulas químicas en la Enseñanza Secundaria, en Francia, fundamentado en la historia de las ciencias. La elaboración se realiza en el marco teórico de «reconstrucción didáctica de secuencias de enseñanza-aprendizaje» y de «análisis de las prácticas docentes». Las investigaciones preliminares que se efectuaron con algunos alumnos y profesores muestran la necesidad de articular los registros referentes a los modelos, a la realidad y al lenguaje con los niveles macroscópico y microscópico para el aprendizaje de los conceptos de transformación y reacción químicas. La primera parte del recurso elaborado se implementa en el aula. La segunda parte es rechazada por dos profesores. Esto conduce a una primera propuesta para la evolución del recurso.

PALABRAS CLAVE: Reconstrucción didáctica; Controversia histórica; Modelos; Realidad; Lenguaje de la química.

ABSTRACT • This paper presents the research conducted to create a history-of-science-based resource that would introduce students to chemical formulas in secondary education in France. This elaboration is based on theoretical frameworks dealing with educational reconstruction of teaching-learning sequences and on the analysis of teaching practices. Preliminary empirical investigations conducted with students and some teachers show the need to articulate the registers of models, reality and language at the submicroscopic and macroscopic levels for learning the concepts of chemical change and chemical reaction. The first part of the resource is implemented in the classroom. The second part that allows to write the reasons justifying the chemical formulas is rejected by two teachers. This leads to a first proposal of the evolution of the resource.

KEYWORDS: Educational reconstruction; Historical controversy; Models; Reality; Language of chemistry.

Recepción: julio 2018 • Aceptación: mayo 2019 • Publicación: junio 2020

Canac, S. y Kermen, I. (2020). Concepción de un recurso didáctico para introducir las fórmulas químicas en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(2), 65-82.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2739>

En este artículo se exponen las investigaciones que se llevaron a cabo al elaborar un recurso didáctico para introducir las fórmulas químicas en la Enseñanza Secundaria (en Francia) a partir de dos presupuestos: la historia de las ciencias proporciona elementos pertinentes para esta elaboración y es necesario tener en cuenta la distinción entre modelos y realidad empírica.

El tránsito desde los conocimientos ordinarios a los saberes científicos se hace buscando las razones que articulan los condicionantes empíricos según los requisitos del modelo. La tensión entre el registro empírico y el registro del modelo permite tomar conciencia de lo que es posible y de lo que no lo es (Orange, 2005). Apoyarse en la historia de las ciencias pone en evidencia la (lenta) construcción de los saberes y los desacuerdos que a veces se produjeron, y finalmente las razones que condujeron a los saberes científicos actuales. Además, diferenciar entre realidad empírica y modelos es necesario para evitar la tendencia reconocida de los alumnos a imaginar el modelo como si fuera una copia de la realidad (Grosslight, Unger, Jay y Smith, 1991).

Deseamos proponer, en nuestro recurso didáctico, hechos experimentales que puedan estimular las preguntas de los alumnos y la búsqueda de las razones que han conducido a los químicos a proponer fórmulas, más que la búsqueda de la «buena fórmula», teniendo en cuenta que las fórmulas constituyen una parte esencial del lenguaje de los químicos. Como los conceptos se definen al formar parte de una red, nuestra hipótesis es que la introducción de los conceptos de especie química, de átomo, de molécula, de transformación química y de reacción química requiere una dialéctica entre los diferentes registros de la química: lenguaje, modelos y realidad y, esto, desde los primeros años de enseñanza de la química. La realización de experimentos no proporcionaría suficientes bases para animar a los estudiantes a reflexionar; esta cultura experimental necesaria no se adquiere en un año de escolaridad, como máximo se alcanza al terminar la escolaridad. Los textos que se puedan discutir parecen ser más apropiados.

Nuestra problemática se articula alrededor de la concepción de un escenario que se pueda proponer a los docentes, que incluye contar con la historia de las ciencias como aporte y tener en cuenta la distinción entre modelo y realidad para introducir el lenguaje elemental de la química. Nos preguntamos cómo va a ser utilizado y aceptado por los docentes, lo cual va a conducirnos a proponer un material didáctico que corresponde más al itinerario de aprendizaje apuntalado por nuestras intenciones que a una secuencia de enseñanza constituida por sesiones con objetivos y actividades fijas sin posibilidad de modificación.

En este artículo presentamos nuestros marcos teóricos, tanto aquellos que nos proporcionan los principios de la reconstrucción didáctica que efectuamos al concebir el recurso como los que corresponden a la doble perspectiva didáctica y ergonómica al analizar las prácticas docentes y un análisis de contenido que llamamos marco didáctico. Esta reconstrucción didáctica comporta análisis preliminares, elaboración del recurso y una primera implementación.

MARCOS TEÓRICOS

Principios de una reconstrucción didáctica para elaborar y validar secuencias de enseñanza-aprendizaje

Presentamos brevemente los dos marcos de elaboración de secuencias de enseñanza-aprendizaje que han guiado nuestro trabajo y que consisten en una reconstrucción didáctica (de Hosson, 2011 b; Duit, 2007). Fundamentándose en la metodología de la ingeniería didáctica (Artigue, 1994), de Hosson (2011 b) ha formalizado el desarrollo de itinerarios de aprendizaje fundamentados en la historia de las ciencias, en concreto incorporando las ideas que han permitido un avance conceptual en la historia de las ciencias. Esta elaboración requiere un estudio didáctico que analice las dificultades de los alumnos

y los condicionantes del sistema escolar que gravitan sobre el saber que se estudia. Los resultados del estudio didáctico orientan una lectura de la historia del saber en cuestión que desemboca en un análisis histórico de los conceptos específicos (de Hosson, 2011 a; de Hosson y Décamp, 2014). El estudio histórico permite obtener informaciones históricas que deberán organizarse a continuación para elaborar un recurso utilizado en la construcción de una secuencia de enseñanza (ibíd.). El estudio histórico y el estudio didáctico forman parte de los análisis preliminares de la ingeniería didáctica, y a estos se puede añadir un estudio de la enseñanza usual y de sus efectos. La concepción de la secuencia de enseñanza se acompaña de un análisis que precisa las hipótesis previas y susceptibles de prever los comportamientos de los alumnos. Después de la experimentación en clase, se confronta el análisis *a posteriori* que contempla las condiciones reales con el análisis *a priori* para evaluar la ingeniería.

El rol del docente que implementa el recurso o la sesión ideados por los investigadores puede originar vacíos o brechas inesperadas, incluso en sentido contrario a veces a las intenciones de los investigadores (Pintó, 2005). En las sesiones que había concebido de Hosson, no tuvo que tener en cuenta la discrepancia derivada de la apropiación de la ingeniería por parte del profesor, ya que ella misma había realizado el experimento en clase.

En el modelo de reconstrucción didáctica (MER, Model of Educational Reconstruction) (Duit, 2007; Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek y Parchmann, 2012) surgido de la tradición didáctica alemana, se establece un proceso iterativo entre la clarificación del contenido científico, las investigaciones empíricas, la concepción y la elaboración de la secuencia. Las investigaciones empíricas se ocupan de los puntos de vista de los alumnos y de los docentes en los análisis preliminares que pretenden establecer lo que será posible aprender y enseñar en la secuencia que se ha de concebir, pero también durante y después de la experimentación en clase de las diferentes versiones de la secuencia concebida. Los análisis cualitativos que se llevaron a cabo a partir de entrevistas o de grabaciones en vídeo de sesiones de clase permitieron, a la vez, perfeccionar la secuencia y ajustar el contenido que se debía enseñar. Al comparar su enfoque con el modelo de reconstrucción didáctica y, además, al no tener en cuenta las variables relacionadas con el docente, de Hosson (2011 b) admite dos grandes diferencias: el saber del que se trata se toma en su contexto histórico específico y los cuestionarios a los alumnos solo se refieren a los aspectos cognitivos y no a los motivacionales o afectivos.

En la misma línea, nuestro estudio se dirige principalmente¹ a la construcción de conceptos por parte de los alumnos a partir de un recurso que sitúa la elaboración de estos conceptos en su contexto histórico. Sin embargo, confluyendo en esto con los procesos implicados en el MER (Duit et al., 2012), antes de la experimentación en clase efectuamos un estudio de las prácticas usuales de enseñanza del saber que se va a estudiar. En efecto, como el recurso ha de poder ser utilizado por los docentes comunes (que lo hacen de manera voluntaria), se han de poder caracterizar las condiciones en las que se introducen habitualmente las fórmulas químicas para determinar la distancia entre ellas y las condiciones que precisa nuestro recurso. Esta distancia no debe ser demasiado importante si el recurso ha de poder ser utilizado por los docentes (Coppens, Rebmann y Munier, 2009) y sin mucha distorsión en relación con nuestras intenciones iniciales (Pintó, 2005). Además, una vez que se han concretado estas condiciones, se evalúa la experimentación en clase a fin de proceder a modificaciones del recurso con las que se corrigen las deficiencias constatadas en el marco de un proceso iterativo (Duit et al., 2012).

1. Con todo, pensamos que utilizar documentos históricos puede tener una influencia en la motivación de los alumnos que no intentamos caracterizar.

Doble enfoque, didáctico y ergonómico, de las prácticas docentes

Para analizar las prácticas de los docentes que participan en nuestro estudio tenemos como referencia el marco del doble enfoque didáctico y ergonómico (Robert y Rogalski, 2002) que se apoya en la teoría de la actividad. La actividad de un sujeto (sea alumno o docente) comporta dos dimensiones: la actividad productiva, que corresponde a la realización de la tarea (el sujeto actúa sobre algo que es real), y la actividad constructiva, que corresponde a los efectos de la realización de la tarea en el sujeto (lo que es real actúa sobre el sujeto) (Pastré, 2007). Según sea la naturaleza de las tareas, será más o menos importante la actividad constructiva; esta conduce a la reorganización de las estructuras cognitivas, que es la causa de la formación de los conceptos por parte de los alumnos, y al desarrollo de la experiencia profesional al actuar sobre los docentes. En este marco, las prácticas toman cuerpo en las respuestas (las preparaciones de las sesiones y la puesta en práctica) que un determinado docente aporta a las prescripciones oficiales, teniendo en cuenta sus recursos y las restricciones impuestas por la situación de trabajo (Rogalski y Robert, 2015). La complejidad de las prácticas docentes disminuye si se considera que pueden analizarse según cinco componentes: cognitivo, mediativo, institucional, personal y social. A este marco se le asocia una metodología: las sesiones de clase se analizan según tres aspectos, el itinerario cognitivo que se propone a los alumnos, las maneras de trabajar que funcionan y los intercambios entre alumnos y docentes durante la sesión; a continuación, deben reconstruirse las elecciones del docente y calificarlas en términos de los componentes de las prácticas, que se combinarán para inferir las lógicas de acción (Molvinger, Chesnais y Munier, 2017). Los análisis del itinerario cognitivo, de las maneras de trabajar y de los intercambios alumnos-docente se efectúan según un marco propiamente didáctico que depende del contenido de que se trate. Sin embargo, apuntan también a determinar si los alumnos tienen la posibilidad de desarrollar una actividad constructiva. Los datos se completan con entrevistas y cuestionarios.

Lenguaje, registros y niveles de la química

Continuando trabajos anteriores (Kermen y Méheut, 2011; Martinand, 1998; Tiberghien, 1994), Kermen (2018) se basa en la articulación del registro de los modelos y del registro empírico para categorizar el saber que se ha de enseñar, y la adapta a las modificaciones químicas de los materiales. Según el registro empírico, se diferencian dos realidades: la realidad percibida, una primera descripción del mundo en términos de objetos y eventos (Tiberghien, 1994) a partir de un vocabulario y de conceptos de la vida cotidiana (cambio de color, formación de un sólido...) y la realidad idealizada (Gilbert, Pietrocola, Zylbersztajn y Franco, 2000; (Kermen y Méheut, 2011), descripción química de la realidad experimental que pone en juego los conceptos de especies químicas y de transformación química. Una transformación química corresponde a un balance macroscópico en términos de especies químicas entre dos estados de un sistema cerrado que no tienen la misma composición. La reacción química es un modelo de una familia de transformaciones químicas en las que se ponen en juego las mismas especies químicas y tiene un rol interpretativo, unificador (Méheut y Chomat, 1990), predictivo. Especifica cuáles son las especies reactivas, las especies que se han formado y las proporciones que acompañan a estas modificaciones respetando la conservación de la masa. Las especies químicas, gran abstracción en relación con la vida cotidiana (Taber, 2013), constituyen un concepto clave a escala macroscópica. Una especie química es vista también como el conjunto de un número considerable de entidades (moléculas, átomos, partículas divisibles) que son idénticas a escala microscópica. Cuando se están produciendo los procesos químicos, los choques incesantes entre entidades del nivel microscópico pueden dar lugar (choques eficaces) a nuevas partículas que corresponden a la formación de nuevas especies a nivel macroscópico.

Para designar y utilizar los conceptos de los modelos y de la realidad idealizada, es necesario el lenguaje simbólico de la química (nombres y fórmulas químicas). Los nombres y las fórmulas químicas tienen una doble interpretación puesto que designan tanto el nivel macroscópico (las especies químicas) como el nivel microscópico (átomos o moléculas). A pesar de ser esencialmente macroscópica, la ecuación química que simboliza la reacción química también se puede interpretar a nivel microscópico. Esto, que podría parecer una posible ambigüedad, constituye una riqueza para el químico (Taber, 2013). Este sistema de representaciones ha conducido a avances significativos en la historia de la química al permitir realizar experimentos sobre una hoja en blanco en lugar de hacerlos en la poyata (Klein, 2001). Nosotras consideramos el lenguaje simbólico como un metanivel de saberes (Canac y Kermen, 2016). Permite representar a la vez el registro de los modelos y el de la realidad idealizada y tener un rol de pasarela entre el nivel macroscópico y el nivel microscópico (Taber, 2013). El nombre, agua, y la fórmula química, H_2O , designan igual de bien el nivel macroscópico, por ejemplo, el líquido en un vaso, que la molécula.

Estas consideraciones se resumen en la figura 1, que toma como ejemplo la combustión del metano.

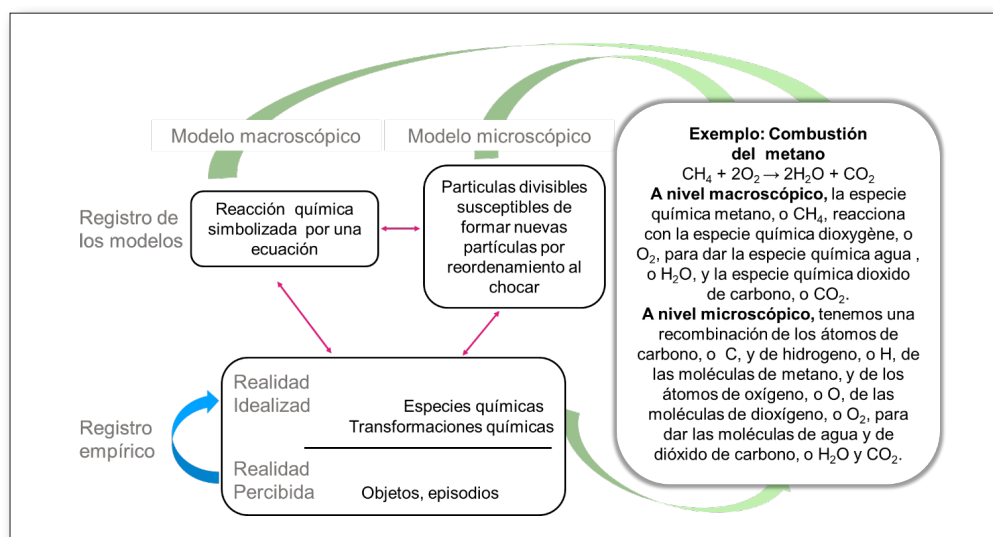


Fig. 1. Articulación entre registros y niveles de química ejemplificada por el uso de lenguaje simbólico en la combustión de metano.

Destacamos, para finalizar, que los conceptos científicos nunca quedan definidos de manera aislada, sino siempre al formar parte de una red. Tomemos como ejemplo el concepto de átomo; se define el átomo en relación con los conceptos de molécula y de reacción química y, por lo tanto, también en relación con los de especie química y transformación química. Estos conceptos se sitúan en dos niveles, macroscópico y microscópico, y pertenecen a diferentes registros, como vemos en la figura 1.

Este marco didáctico que se ha presentado brevemente constituye también una aclaración del contenido en el sentido del MER (Duit, 2007).

METODOLOGÍA

Indicamos los principios rectores que subyacen a una primera ronda de investigaciones empíricas para circunscribir la enseñanza-aprendizaje del lenguaje elemental de la química (nombres y fórmulas) en Francia: análisis de los recursos institucionales, análisis de las adquisiciones de los alumnos y análisis

de las prácticas ordinarias de enseñanza. A continuación, especificamos lo que ha guiado la elaboración propiamente dicha de nuestro recurso, que empieza con una investigación histórica para indagar las razones que han permitido la construcción de las fórmulas. Nuestros últimos análisis se refieren a una primera implementación del recurso.

Estudio de los recursos institucionales y del aprendizaje de los estudiantes

Hemos estudiado los planes de estudio de primer y segundo grado en vigor en 2005 y 2016, y para cada plan de estudios dos libros de primer grado y dos de segundo grado. Hemos buscado todo lo relacionado con la nomenclatura y las fórmulas químicas para determinar el nivel asociado: macroscópico y/o microscópico, y si el lenguaje simbólico juega un papel de metanivel.

Se presentó un cuestionario a varias centenas de estudiantes de diversos niveles de escolaridad en Francia (Canac y Kermen, 2016) desde el tercer año de Secundaria² («collège», grado 8) hasta el primer año de universidad, para evaluar en qué medida los alumnos (y los estudiantes) dominan el lenguaje simbólico elemental y si son conscientes de su rol de pasarela entre el nivel macroscópico y microscópico. La metodología completa, demasiado larga para ser presentada aquí, ha sido detallada en Canac y Kermen (2016).

Metodología de análisis de las prácticas ordinarias de enseñanza

Se filmaron dos sesiones de clase ordinarias en «quatrième» (grado 8, tercer año de Secundaria en Francia) en dos centros con dos docentes voluntarios, Aude y Mathieu, que fueron interrogados en una entrevista después de la sesión. Estas sesiones correspondían a la introducción de las fórmulas químicas. Buscamos cómo caracterizar las diferencias y semejanzas en el escenario que habían propuesto los docentes y determinar los enlaces que se establecieron entre el registro empírico, el registro de los modelos y el registro simbólico. En particular, hemos examinado si los enlaces efectuados conducen a los docentes a presentar el lenguaje simbólico como un metanivel y si les proporcionan razones en cuanto a la elaboración de las fórmulas químicas. El método adoptado consistió primero en caracterizar las tareas asignadas a los alumnos, la organización del trabajo (¿quién hace qué?, ¿cuándo?, ¿cómo?) y el andamiaje didáctico propuesto por los docentes. Las transcripciones de los vídeos se dividieron en episodios, de manera que cada episodio fuera representativo de la realización de una tarea cuyo objetivo fue reconstruido. En un segundo momento, los discursos se analizaron para determinar los registros de la química (empírico, modelos, representación) puestos en funcionamiento a lo largo de la sesión y el nivel de lenguaje (macroscópico o microscópico) utilizado por cada docente. En fin, las entrevistas han aportado informaciones que permiten aproximarnos a los determinantes institucional, personal y social. De hecho, nuestra hipótesis es que existen limitaciones institucionales, epistemológicas y didácticas que hacen que el docente se encuentre con dificultades al introducir las fórmulas químicas sin recursos adaptados.

El modo de elaboración del recurso

La investigación histórica se inicia con Lavoisier y el nacimiento de un lenguaje teórico especializado (Izquierdo-Aymerich, 2012) y finaliza con el congreso de Karlsruhe (1860), en el que las fórmulas químicas son ya las mismas que utilizamos en la actualidad. Nuestra hipótesis es que las razones

2. Tercer año de Secundaria en Francia, segundo año de Secundaria en España.

que fueron dadas por los químicos para elaborar las primeras fórmulas pudieron articularse entre las limitaciones impuestas por el registro empírico y el registro de los modelos y condujeron al registro simbólico. Nuestro estudio histórico nos ha de permitir identificar estas limitaciones.

En posesión de los elementos históricos, es necesario dar forma al recurso. El debate entre los alumnos nos pareció el objetivo pedagógico más adecuado para hacerlos argumentar y construir razones.

Pero decidimos no imponer a los docentes la organización del trabajo con los alumnos. Teníamos el riesgo de que se rechazara nuestro recurso si solicitábamos un cambio en sus costumbres de gestión de clase.

Nos parece más interesante empezar por desarrollar los conocimientos epistemológicos y didácticos de los docentes invitándolos a utilizar los documentos sin cambiar necesariamente sus hábitos de trabajo. Pensamos, en efecto, que si los docentes utilizan los textos con sus alumnos a lo largo de una o de varias sesiones, podrán empezar a desarrollar de manera empírica *conocimientos profesionales locales* que les permitan afinar el desarrollo de su sesión especialmente en cuanto a anticipar las reacciones de los alumnos (Morge, 2003, pp. 104-105).

El recurso consiste en una selección de textos históricos y sugerencias de uso, el escenario. En el escenario, que se divide en dos partes, indicamos las notas que consideramos necesarias para entenderlas, los textos, los objetivos de su uso y algunos ejemplos de preguntas para utilizarlas. Los textos que proponemos se han modificado ligeramente en relación con los originales para hacerlos más accesibles a los alumnos.

Estudio de la implementación del recurso

Comenzamos la segunda ronda de investigación empírica mostrando el recurso a dos docentes, Mathieu y Benjamin. Les pedimos que utilizaran el escenario propuesto o que elaboraran uno nuevo escogiendo entre los textos que proporcionamos. Mathieu, que había sido observado con ocasión de su clase ordinaria el año anterior, aceptó implementar la primera parte del escenario en su clase. En la entrevista preliminar le expusimos las ideas que nos habían conducido a elegir estos textos y nuestros objetivos en cuanto a su utilización en clase. Filmamos la sesión y se llevó a cabo una entrevista al terminar. En un primer momento presentamos el plan de la sesión del docente. Comparándola con una sesión ordinaria, indicamos a continuación lo que nos parecía consolidado en sus prácticas y lo que nuestro recurso permitió finalmente hacer evolucionar. Para ello utilizamos de nuevo la metodología desarrollada en el análisis de las sesiones ordinarias.

Análisis de los recursos institucionales: programa y manuales

Los programas de «collège» (para alumnos de 11 a 15 años) han sido analizados para determinar cómo se prescribe la introducción de los nombres y las fórmulas químicas. Los programas no contienen ninguna indicación respecto a la nomenclatura. Se propone introducir las fórmulas químicas en relación con los conceptos de molécula y átomo, es decir, a nivel microscópico de manera explícita, pero solo de manera implícita en relación con las reacciones químicas a nivel macroscópico. El doble aspecto macroscópico y microscópico del lenguaje no aparece de manera explícita en ningún nivel del programa, ni tan solo en los del liceo.³ Los diferentes conceptos se introducen de manera sucesiva y no hay ninguna recomendación que sugiera ponerlos en red.

En los manuales escolares de «collège» que se analizaron, no se propone ninguna razón para justificar los nombres científicos y las fórmulas químicas utilizadas. Las fórmulas y los nombres se asocian

3. Alumnos de Secundaria Superior, 15-18 años.

al nivel microscópico desde el primer momento y el deslizamiento hacia la especie química y el nivel macroscópico se hace de manera implícita. La reacción química no se presenta como un modelo macroscópico. Ningún manual indica de manera explícita que el lenguaje simbólico representa a la vez los niveles macroscópico y microscópico. No es presentado como un metanivel ni como un saber apodíctico.

Análisis de los conocimientos adquiridos por los alumnos

Se presentó un cuestionario a varios centenares de estudiantes de diversos niveles de escolaridad en Francia (Canac y Kermen, 2016) desde el tercer año de Secundaria («collège», grado 8) hasta el primer año de universidad, para evaluar en qué medida los alumnos (y los estudiantes) dominan el lenguaje simbólico elemental y si son conscientes de su rol de tránsito entre el nivel macroscópico y microscópico. En todos los niveles de escolaridad, los alumnos tienen grandes dificultades para manejar las nociones que han sido introducidas desde los dos primeros años de enseñanza de la química. Una parte de los alumnos consultados tienen dificultades para descodificar una fórmula química fuera del contexto de una ecuación química (desde un 30 hasta un 50 % según el nivel consideran que CH_4 y C_2H_8 son dos fórmulas de una misma molécula) y la gran mayoría fracasa en el contexto de una ecuación química. Un gran número de alumnos considera que HOH , OH_2 y H_2O no designan la misma molécula, por más que el conocimiento de esta flexibilidad de escritura es un asunto fundamental para el químico. Los alumnos interrogados no son capaces de asociar correctamente, a la vez, un criterio macroscópico (cuerpo puro o mezcla) y un criterio microscópico (átomo o molécula) a un nombre o a una fórmula. Es más, la visión microscópica de los nombres y de las fórmulas químicas aumenta con el nivel de estudio. Esta dificultad de asociar dos conceptos (la especie y la entidad) a una fórmula bruta ya se había detectado en otros países (Mzoughi-Khadhraoui y Dumon, 2012; Taskin y Bernholt, 2014). En cambio, el hecho de que aparezca también para los nombres es un resultado nuevo que muestra que la mayoría de los alumnos no reconoce el carácter dual del lenguaje simbólico (nombre y fórmula) cuando terminan sus cursos de ciencias. Da la sensación de que estos resultados deberían imputarse a la enseñanza actual, que parece favorecer una visión microscópica de nombres y fórmulas.

Observación de las prácticas docentes (ordinarias)

En las dos sesiones, los docentes que fueron observados, Aude y Mathieu, hacen las mismas elecciones en cuanto a los contenidos químicos propuestos y a la organización del trabajo (componentes cognitiva y mediativa). Sus sesiones son parecidas en cuanto que proponen un número equivalente de tareas de un mismo tipo, en general simples, pero difieren por la naturaleza de las actividades introductorias, los ejemplos utilizados y la distribución temporal de las tareas. Las dos sesiones son cursos dialogados en los que el tiempo reservado al trabajo individual es muy reducido. Los dos docentes guían a los alumnos paso a paso, proporcionan ejemplos de la vida cotidiana para ilustrar algunas afirmaciones y adoptan un discurso cercano para estimular a los alumnos. Hacen trabajar a los alumnos en la codificación de las fórmulas químicas a partir de la composición de la molécula que ha sido deducida a partir del nombre químico. Está ausente el registro empírico para justificar la fórmula química. Parece ser que con solo el nombre químico (dioxígeno, dihidrógeno, dióxido de carbono) ya se puede hacer. Pero cuando se llega al caso del agua, han de pedir a los alumnos que recuerden la fórmula, cosa que puede parecer paradójica en una sesión en la que se introducen las fórmulas químicas. Muestran lo que son las fórmulas químicas haciendo que los alumnos manipulen modelos moleculares. Los dos indican, en la entrevista, que la única justificación posible de las fórmulas en el registro de los modelos es el enlace covalente (conocimiento didáctico), pero que el programa no les permite hablar de ello (determinante institucional).

Únicamente el registro de los modelos microscópicos se pone en relación explícita con el registro simbólico. La fórmula o el nombre no parecen designar la especie química. El contenido del discurso no permite asociar de manera explícita los nombres y las fórmulas a los dos niveles, macroscópico y microscópico. Tener éxito en las tareas que se les han propuesto no puede conducir a los alumnos a considerar al lenguaje simbólico como un metanivel.

Los condicionantes institucionales y el desconocimiento de determinadas dificultades de los alumnos parecen estar en el origen de las elecciones análogas de los dos docentes, mientras que la consideración social en cuanto al nivel de la clase y la visión personal de cada docente en relación con la enseñanza les conducen a gestionar de manera diferente los posibles márgenes de maniobra en los ejercicios y en el andamiaje (la ayuda didáctica) que proporcionan a los alumnos.

A pesar de que este estudio se refiere solo a dos docentes, las sesiones corresponden a lo que nosotros consideramos «común» cuando se introducen las fórmulas químicas en «quatrième» (grado 8). En efecto, las regularidades observadas al comparar las dos sesiones parecen ser coherentes a la vez con las limitaciones institucionales y con las dificultades de los alumnos al utilizar e interpretar el lenguaje simbólico que ya habían sido detectadas (Canac y Kermen, 2016). Consideramos por lo tanto que la enseñanza de las fórmulas químicas cuando se introducen en el «collège» no permite a los alumnos establecer las relaciones adecuadas entre los diferentes registros y niveles de la química.

ELABORACIÓN DEL RECURSO PILOTO

Estudio histórico

Aude y Mathieu no parecen dispuestos a proporcionar razones que conduzcan a la elaboración y a la elección de las fórmulas que no sean el modelo de Lewis, que no se introduce hasta los programas del Liceo. Sin embargo, las primeras fórmulas se elaboraron durante la primera mitad del siglo XIX y el modelo de átomo que estaba disponible entonces –partícula indivisible que se conserva en las transformaciones químicas– es equivalente al que se proporciona a los alumnos en el momento de la introducción de las fórmulas en el «collège».

Nos interesamos de una manera especial por el caso del agua y de los cuerpos simples que son gases, que son las primeras fórmulas que se introducen a los alumnos en el programa francés. Los equivalentistas y Dalton utilizan las mismas fórmulas. Para un equivalentista, la fórmula simboliza el cuerpo simple y el agua ha de corresponder a la primera combinación entre el gas hidrógeno y el gas oxígeno (Regnault, 1850). Dalton (1808) postula que la fórmula química debe ser la más simple posible. En consecuencia, el cuerpo simple ha de estar formado por un solo átomo y la fórmula del agua debe corresponder a la combinación más elemental HO. Para Berzelius (1819), atomista convencido, la combinación de los átomos se relaciona con su afinidad electroquímica. Dos átomos idénticos, por lo tanto, no pueden asociarse. El cuerpo simple se mantiene monoatómico. Pero en el caso del agua, se guía por las leyes volumétricas de Gay-Lussac. Representa mediante la fórmula H_2O la obtención de agua a partir de la combinación de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno. Con el desarrollo de la química orgánica, nuevos hechos empíricos hacen aparecer nuevos problemas que requieren la evolución de los modelos y de las fórmulas. Gerhardt (1844) constata que hay hasta siete fórmulas diferentes para el etanol. Intenta entonces poner orden en las fórmulas que se utilizaban. Basándose en las leyes volumétricas de Gay-Lussac, como hizo Berzelius, Gerhardt, a pesar de ser un equivalentista convencido, propone también la fórmula H_2O , pero constata que en química orgánica se utiliza la fórmula H_2O_4 ; utilizar siempre la misma la fórmula del agua requiere dividir por dos todas las fórmulas de la química orgánica, con lo cual se estableció una mayor relación entre las propiedades de las sustancias y sus fórmulas y se favoreció su clasificación. Pero la transformación más importante

se produjo en relación con los cuerpos simples. Gaudin (1833) es el primero en proponer fórmulas formadas por diversos átomos para los cuerpos simples retomando la hipótesis de Avogadro-Ampère para los gases. Los trabajos de Dumas, Gerhardt y Laurent sobre la posibilidad de substituir un hidrógeno por un cloro desestabilizan la visión dualística de Berzelius. Los químicos admiten que un cuerpo simple pueda estar constituido por varios átomos idénticos. El descubrimiento de la isomería y la observación de las sustituciones en la química orgánica, entre otros, conducen a la emergencia de una noción nueva: la atomicidad o capacidad de combinación de un átomo (Dumon y Cokelez, 2006). Los químicos atomistas-orgánicos, como Boutlerov, Couper, Kékulé o Wurtz, abandonan la fórmula empírica, que solo muestra las proporciones ponderadas de los elementos químicos, en provecho de una fórmula razonada que debería poder indicar la estructuración de los átomos en el seno de la molécula.

La molécula de los cuerpos simples ya no es necesariamente monoatómica. A partir de las leyes volumétricas de Gay-Lussac y en concordancia con los diferentes resultados de la química orgánica, las moléculas de los gases hidrógeno, oxígeno, cloro y nitrógeno pasan a ser biatómicas. Las limitaciones del registro empírico y del registro de los modelos imponen las nuevas fórmulas químicas.

Elaboramos el primer recurso docente a partir de esta investigación histórica cuyas etapas principales acabamos de ofrecer.

Recurso piloto que se propuso a los docentes

El escenario recurso ha sido concebido en dos partes. La primera debería permitir a los alumnos familiarizarse con las representaciones simbólicas. En la segunda, proponemos una controversia histórica que debe conducir a preguntarse sobre las razones que permitieron la elaboración de las fórmulas.

Parte 1 del escenario

Hemos constatado que los alumnos tienen dificultades con la lectura de las fórmulas, no viendo en H_2O , HOH , OH_2 la representación de la misma fórmula (Canac y Kermen, 2016). Proponemos que los profesores tengan alumnos representados por la composición del dióxido de carbono a partir de los símbolos que fueron propuestos por Hassenfratz y Adet, Dalton o Berzelius. La palabra composición se ha de entender históricamente tanto a nivel macroscópico para la especie química como a nivel microscópico para la molécula. Escogimos el dióxido de carbono porque todos los alumnos conocen ya esta fórmula antes de ser introducida por el profesor de química. A lo largo de esta sesión los alumnos deben escoger entre los diferentes símbolos y pueden proponer todo tipo de representación colocando las letras de Berzelius en el orden que deseen. El docente podrá indicar entonces que los químicos utilizan con preferencia una representación pero que se podrían encontrar otras igualmente correctas. Formulamos la hipótesis de que este trabajo sobre la elección de los símbolos químicos puede permitir a los alumnos una mayor flexibilidad al leer las fórmulas químicas y mostrar la ciencia como «una aventura humana» (Martinand, 1993, p. 96). Abordar la naturaleza de la ciencia es uno de los enfoques temáticos para el uso de la historia de las ciencias en la investigación didáctica actual (de Hosson y Schneeberger, 2011).

Parte 2 del escenario

Habida cuenta de que los alumnos leen la fórmula de manera esencialmente microscópica y que los docentes observados solo justifican las fórmulas a partir del nombre, el objetivo de esta parte es conducir a los alumnos a interrogarse sobre las razones que conducen a proponer una fórmula con preferencia sobre otra. Estas razones deben apoyarse a la vez en el registro macroscópico y en el registro de

los modelos microscópicos. Para esto, partimos de la investigación histórica. Hemos constatado cinco controversias sobre la fórmula del agua y de los cuerpos simples según las dos corrientes de opinión. Podemos asociar un determinado registro explicativo, datos empíricos y un modelo de referencia a cada científico o grupo de científicos (tabla 1).

Tabla 1.
Las controversias en torno a las fórmulas químicas durante la primera mitad del siglo XIX

<i>Línea de pensamiento</i>	<i>Científicos</i>	<i>Propuesta para los cuerpos simples</i>	<i>Propuesta para el agua</i>	<i>Registro explicativo</i>	<i>Datos empíricos de referencia</i>	<i>Modelo de referencia</i>
Equivalentista	Primeros equivalentistas	H, O...	HO	Rechazo del modelo particulado	Análisis de los cuerpos compuestos	
	Equivalentistas orgánicos	H, O...	H ₂ O		Análisis de los cuerpos compuestos y síntesis orgánicas	
Atomista	Dalton	H, O...	HO	Modelo particulado y criterio de simplicidad	Análisis de los cuerpos compuestos	Átomo caracterizado por la masa
	Berzelius	H, O...	H ₂ O	Modelo particulado y visión dualística	Análisis de los cuerpos compuestos y leyes de Gay-Lussac	Átomo caracterizado por la masa
	Atomistas orgánicos	H ₂ , O ₂ ...	H ₂ O	Modelo particulado	Análisis de los cuerpos compuestos, leyes de Gay-Lussac, síntesis orgánicas e isomería	Distinción átomo-molécula Átomo caracterizado por la masa y su atomicidad

El razonamiento de los equivalentistas parte del rechazo del modelo atómico y se sostiene sobre un registro empírico bien desarrollado, demasiado alejado de los conocimientos de los alumnos actuales. El razonamiento de Berzelius se refiere a su visión dual. Los docentes deberían introducir entonces los fenómenos electroquímicos antes que las moléculas, con lo cual se correría el riesgo de modificar mucho los hábitos adquiridos y podría provocar el rechazo de los recursos que se proponen. Finalmente, escogemos una reconstrucción didáctica basada en la controversia entre Dalton y los atomistas y los atomistas orgánicos. Es una ficción, puesto que los atomistas orgánicos combatieron tanto las tesis de los equivalentistas como las de Berzelius, pero el criterio de simplicidad de Dalton, que permite justificar las fórmulas atómicas de los cuerpos simples y compuestos, parece constituir un argumento accesible a los alumnos. Nos parece interesante, desde un punto de vista epistemológico, mostrar que este criterio no se apoya en ninguna teoría científica ni en ningún hecho experimental y que es arbitrario. Pensamos que las transformaciones en las que intervienen gases y las leyes volumétricas de Gay-Lussac pueden aportar el registro empírico que permite refutar el criterio de simplicidad de Dalton y elaborar, en relación con el modelo del átomo y de la molécula, la fórmula del agua en primer lugar y después las de los cuerpos simples diatómicos en segundo lugar. En efecto, nos parece más sensato empezar por la elaboración de la fórmula de un cuerpo compuesto y pasar a continuación a las

fórmulas de los cuerpos simples. A pesar de la aparente simplicidad del resultado final, la historia nos muestra que su elaboración ha necesitado un largo camino y que solo se consiguió al diferenciar entre átomo y molécula. Proponemos a los docentes que trabajen a partir de un texto de Lavoisier sobre la síntesis del agua, de dos textos de Dalton, en los que se da una interpretación de la reacción química a partir de átomos y que indican las reglas de las combinaciones de los átomos para el agua (criterio de simplicidad), además de tres textos de Gaudin que se fundamentan en las leyes de Gay-Lussac para el caso de la síntesis del agua. Este trabajo debería conducir a las razones que justifican las fórmulas del cuerpo compuesto agua y de los cuerpos simples oxígeno e hidrógeno. Los textos de Gaudin deben crear la dialéctica entre registro simbólico, registro empírico y registro de los modelos. Se invita a los docentes a trabajar simultáneamente, y no sucesivamente como se sugiere en los manuales escolares, los conceptos de especie química, de átomo, de molécula, de transformación química y de reacción química. Deseamos crear así las condiciones para la introducción del lenguaje simbólico en tanto que metanivel. La misma fórmula representa a la vez a la especie química y a la molécula, y la ecuación de la reacción química se lee a nivel macroscópico con los volúmenes de gas y se interpreta a nivel microscópico con los átomos y las moléculas.

Implementación del recurso piloto

Los dos profesores participantes, Mathieu y Benjamin, afirmaron que la segunda parte era demasiado difícil para los alumnos, por lo que la puesta en práctica del recurso solo se refiere a la primera parte.

Resultado del primer uso

En los textos que propone, Mathieu conservó los ejemplos de los símbolos de Hassenfratz y Adet y después de Dalton y simplifica el texto de Berzelius en el que explica la elección de símbolos en forma de letras.

Esta elección le permite no cambiar su progresión. Esta sesión reemplaza con precisión la que nosotros habíamos observado con anterioridad. Como en la sesión «ordinaria», la que parte de textos históricos se sitúa entre un curso de introducción del concepto de átomo como partícula elemental y una sesión en la cual los alumnos pueden manipular los modelos moleculares. De nuevo, finaliza el programa de química con el estudio de las ecuaciones de reacción. En la entrevista, la primera razón que invoca para justificar sus elecciones es su interés por la evolución histórica de los conocimientos. Añade que este trabajo le permite un nuevo objetivo, mostrar que la ciencia se construye. En su opinión, esta es también la parte que debería interesar más a los alumnos. Mathieu no utiliza el texto de Lavoisier que figuraba en la propuesta de escenario. Le parece interesante trabajar en torno a las proporciones químicas, pero el tiempo no le permite hacerlo todo. Esta observación parece indicar que no piensa cambiar su secuencia tratando a la vez la introducción de las fórmulas químicas y las ecuaciones de reacción. En fin, Mathieu no desea hacer trabajar a los alumnos sobre la síntesis del agua, como se propone en el texto de Lavoisier, porque no se puede realizar experimentalmente en una clase de «collège» (grado 8).

Lo que nos parece que se ha estabilizado

A pesar de que el contenido de la sesión ha evolucionado con la utilización de textos históricos, la organización del trabajo propuesta por Mathieu continúa siendo muy parecida a la que habíamos podido observar en la sesión ordinaria. Las tareas continúan siendo simples y se encadenan al mismo ritmo que en la primera sesión. Tenemos aún un curso dialogado y los alumnos no intervienen mucho.

El docente reutiliza los ejemplos y una parte de la sesión inicial. A un docente experimentado le es más difícil cambiar la gestión de su clase que su contenido (Robert, 2007). La comparación de las dos sesiones observadas parece darle la razón, el componente «mediativo» de las prácticas de Mathieu es estable. En cuanto a la utilización de los registros de la química, Mathieu se limita al registro microscópico. El lenguaje químico permanece en gran medida implícito o no definido como en la sesión del año anterior, ya que Mathieu no precisa el nivel macroscópico o microscópico en el cual se coloca. Además, la justificación de las fórmulas se hace siempre a partir de los nombres o de modelos moleculares.

Lo que nos parece en evolución

La utilización de textos históricos comporta una mayor variedad de objetivos para las tareas prescritas. Los alumnos tienen más libertad para la escritura de las fórmulas. Se les solicita más que en la primera sesión que propongan sus ideas sobre la representación. No les falta imaginación, especialmente con los símbolos de Hassenfratz y Adet y los de Berzelius.

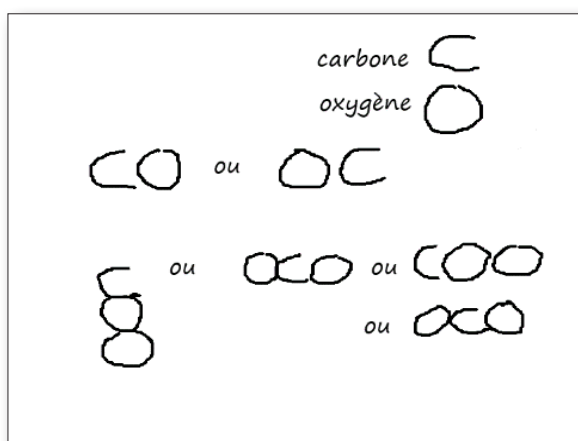


Fig. 1. Extracto de la pizarra: propuesta de los alumnos a partir de letras para escribir la fórmula química del óxido de carbono y del dióxido de carbono.

El nuevo contenido permite mostrar que los científicos han dudado entre varios tipos de símbolos y que ha habido evolución, lo cual constituye un nuevo objetivo para la sesión. La componente cognitiva de la práctica de Mathieu ha evolucionado.

¿Qué validación?

Los dos docentes a los que se pidió colaboración rechazaron la segunda parte del escenario. Mathieu, en la entrevista, confirma que no había comprendido que la segunda parte de los textos debía permitir llegar a la fórmula química a partir de las leyes de Gay-Lussac. Indica que los alumnos nunca le han preguntado sobre la razón de las fórmulas propuestas. Él mismo no sabe cómo justificarlas fuera del modelo de Lewis. Reconoce que no ha percibido el rol del lenguaje simbólico como metanivel y la necesidad de definir explícitamente los niveles macroscópico y microscópico en el momento de utilizar los nombres y las fórmulas. Duda él mismo de qué nivel asociar a la noción de cuerpo puro. Parece ser que el componente personal de las prácticas de Mathieu es un freno para la utilización de esta parte del recurso piloto.

Sin embargo, la primera parte del escenario les parece aceptable a los docentes y Mathieu la pone en práctica modificándola, lo que indica una apropiación. La utilización de los textos permite una mayor actividad cognitiva de los alumnos y pone el acento en la flexibilidad de escritura de las fórmulas, cuya importancia hemos recordado.

CONCLUSIÓN

Los análisis preliminares que hemos llevado a cabo muestran las dificultades de los alumnos. Los docentes observados parecen no poder hacerles frente. Esto confirma la necesidad de proponer a los docentes recursos para introducir el lenguaje simbólico. El recurso piloto se construyó a partir de fuentes históricas primarias para alcanzar un objetivo concreto: eliminar la arbitrariedad al escribir las fórmulas químicas y proponer argumentos que estén fundamentados a la vez en resultados empíricos y en los elementos del modelo en el inicio de la Enseñanza Secundaria. Pero la parte del escenario que debería permitir acceder a estas razones ha sido rechazada por los dos docentes a los que se pidió colaboración. De acuerdo con el MER (Duit et al., 2012) que subyace a nuestro enfoque hemos decidido modificar la segunda parte del escenario, que había parecido inaccesible a los docentes. Beaufils, Maurines y Chapuis (2010) constatan que estos últimos prefieren disponer de documentos preparados y no de textos históricos primarios.

Hemos elaborado diálogos ficticios, como los que imaginó de Hosson (2011 b), entre los tres personajes –Sagredo, Salviati y Simplicio– creados por Galileo. Los hemos propuesto a dos nuevos docentes que han considerado que el nuevo formato era accesible y los han implementado en sus clases. Estamos analizando estas sesiones, pero los primeros resultados muestran que los docentes no comprenden por qué intentamos proponer a los alumnos las razones históricas que permitieron la elaboración de las fórmulas. Parece que es necesaria una formación epistemológica y didáctica para que los docentes comprendan los fundamentos de nuestro enfoque y tomen decisiones con pleno conocimiento. Nos planteamos continuar esta investigación en el marco de una propuesta colaborativa en la cual nosotros aportamos conocimientos epistemológicos y didácticos y los docentes, la profesionalidad de la práctica diaria (Desgagné, 1997).

AGRADECIMIENTOS

Damos nuestros agradecimientos muy sinceros a Mercè Izquierdo, que realizó la traducción de este artículo al español y a Cécile de Hosson por la corrección de la versión final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Artigue, M. (1994). Didactical engineering as a framework for the conception of teaching products. En R. Biehler, R. W. Scholz, R. Strässer y B. Winkelmann (Eds.), *Didactics of mathematics as a scientific discipline* (pp. 27-39). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Beaufils, D., Maurines, L. y Chapuis, C. (2010). Compte-rendu d'enquête sur l'histoire des sciences auprès d'enseignants de physique et chimie. *Le BUP Physique Chimie*, 924, 581-598.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S. y Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*, 63(1), 64.
<https://doi.org/10.1021/ed063p64>
- Berzelius (1819). *Essai sur la théorie des proportions chimiques et sur l'influence chimique de l'électricité*. París: Méquignon-Marvis.

- Canac, S. y Kermen, I. (2016). Exploring the mastery of French students in using basic notions of the language of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(3), 452-473.
<https://doi.org/10.1039/C6RP00023A>
- Coppens, N., Rebmann, G. y Munier, V. (2009). Suivre l'évolution des conceptions des élèves en mécanique: développement et évaluation d'exercices informatisés. *Didaskalia*, (35), 37-58.
<https://doi.org/10.4267/2042/31136>
- Dalton, J. (1808). *A new system of chemical philosophy* (Vol. 1). Londres: Rickerstaff.
- de Hosson, C. (2011 a). Una controversia histórica al servicio de una situación de aprendizaje: una reconstrucción didáctica basada en Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo de Galileo. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 115-126.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n1.429>
- de Hosson, C. (2011 b). *L'histoire des sciences: un laboratoire pour la recherche en didactique et l'enseignement de la physique*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches. Université Paris Diderot. Obtenido de <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00655594>
- de Hosson, C. y Décamp, N. (2014). Using Ancient Chinese and Greek Astronomical Data: A Training Sequence in Elementary Astronomy for Pre-Service Primary School Teachers. *Science & Education*, 23(4), 809-827.
<https://doi.org/10.1007/s11191-013-9625-2>
- de Hosson, C. y Schneeberger, P. (2011). Orientations récentes du dialogue entre recherche en didactique et histoire des sciences. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, (3), 9-20.
- Desgagné, S. (1997). Le concept de recherche collaborative: l'idée d'un rapprochement entre chercheurs universitaires et praticiens enseignants. *Revue des Sciences de l'Éducation*, 23(2), 371-393.
- Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3-15.
<https://doi.org/10.12973/ejmstel/75369>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. y Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction- A framework for improving teaching and learning science. En D. Jorde y J. Dillon (Eds.), *Science education research and practice in Europe: retrospective and prospective* (pp. 13-37). Sense Publishers.
- Dumon, A. y Cokelz, A. (2006). La cohésion de la matière. *L'Actualité Chimique*, 297, 49-56.
- Gaudin, M.-A. (1833). Recherches sur la structure intime des corps inorganiques définis. *Annales de Chimie et de Physique*, 52, 113-133.
- Gerhardt, C. (1844). *Précis de chimie organique*. Tomo 1. París: Fortin, Masson et Cie.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A. y Franco, C. (2000). Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 19-40). Springer Netherlands.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660280907>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2012). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science y Education*, 22(7), 1633-1653.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9457-5>
- Kermen, I. (2018). *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée. Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*. Rennes: Presses Universitaires de Rennes.

- Kermen, I. y Méheut, M. (2011). Grade 12 French Students' use of a Thermodynamic Model for Predicting the Direction of Incomplete Chemical Changes. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1745-1773.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.519008>
- Klein, U. (2001). Paper tools in experimental cultures. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 32(2), 265-302.
[https://doi.org/10.1016/S0039-3681\(01\)00010-3](https://doi.org/10.1016/S0039-3681(01)00010-3)
- Martinand, J.-L. (1993). Histoire et didactique de la physique et de la chimie: quelles relations? *Didaskalia*, 2, 89-99.
<https://doi.org/10.4267/2042/20187>
- Martinand, J.-L. (1998). Introduction à la modélisation. En *Les technologies de l'information et de la communication et l'actualisation des enseignements scientifiques et technologiques au lycée d'enseignement général et au collège, Actes de l'université d'été*. INRP-ENS Cachan. Obtenido de <http://www.inrp.fr/Tecne/Rencontre/Univete/Tic/Pdf/Modelisa.pdf>
- Méheut, M. y Chomat, A. (1990). Les limites de l'atomisme enfantin; expérimentation d'une démarche d'élaboration d'un modèle particulière par des élèves de collège. *European Journal of Psychology of Education*, 5(4), 417-437.
<https://doi.org/10.1007/BF03173130>
- Molvinger, K., Chesnais, A. y Munier, V. (2017). L'enseignement de la masse à l'école élémentaire : Pratiques d'une enseignante débutante en éducation prioritaire. *Recherches en Didactique des Sciences et des technologies*, 15, 133-167.
<https://doi.org/10.4000/rdst.1501>
- Morge, L. (2003). Les connaissances professionnelles locales: le cas d'une séance sur le modèle particulière. *Didaskalia*, 23, 101-131.
<https://doi.org/10.4267/2042/23928>
- Mzoughi-Khadhraoui, I. y Dumon, A. (2012). L'appropriation par des élèves tunisiens débutants du langage permettant de représenter la réaction chimique. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, (6), 89-118.
<https://doi.org/10.4000/rdst.107>
- Orange, C. (2000). *Idées et raisons: constructions de problèmes, débats et apprentissages scientifiques en SVT*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches. Nantes: Université de Nantes.
- Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences et dans les apprentissages scientifiques. *Les Sciences de l'éducation-Pour l'ère Nouvelle*, 38(3), 69-94.
<https://doi-org/10.3917/lstdle.383.0069>
- Pastré, P. (2007). Quelques réflexions sur l'organisation de l'activité enseignante. *Recherche et Formation*, 56, 81-93.
<https://doi-org/10.4000/rechercheformation.907>
- Pintó, R. (2005). Introducing curriculum innovations in science: Identifying teachers' transformations and the design of related teacher education: Introducing Curriculum Innovations in Science. *Science Education*, 89(1), 1-12.
<https://doi.org/10.1002/sc.20039>
- Regnault, V. (1850). *Premiers éléments de chimie*. Paris: V. Masson, Langlois et Leclercq.
- Robert, A. (2007). Stabilité des pratiques des enseignants de mathématiques (second degré): une hypothèse, des inférences en formation. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 27(81), 271-312.

- Robert, A. y Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505-528.
<https://doi.org/10.1080/14926150209556538>
- Rogalski, J. y Robert, A. (2015). De l'analyse de l'activité de l'enseignant à la formation des formateurs. Le cas de l'enseignement de mathématiques dans le secondaire. En V. Lussi Borer, M. Durand y F. Yvon (Eds.), *Analyse du travail et formation dans les métiers de l'éducation* (pp. 95-113). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168.
<https://doi.org/10.1039/c3rp00012e>
- Taskin, V. y Bernholt, S. (2014). Students' Understanding of Chemical Formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 36(1), 157-185.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.744492>
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1), 71-87.
[https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90019-1)

Design of a didactical resource to introduce chemical formulas in secondary school

Sophie Canac

Université Paris Est Créteil, Laboratoire de didactique André Revuz, F-94000 Créteil, France

Universités de Paris, Artois, Cergy-Pontoise, UNIROUEN

sophie.canac@u-pec.fr

Isabelle Kermen

Université d'Artois, Laboratoire de didactique André Revuz, F-62300 Lens, France

Universités de Paris, Cergy-Pontoise, Paris Est Créteil, UNIROUEN

isabelle.kermen@univ-artois.fr

This paper presents the research conducted to create a history-of-science-based resource to introduce students to chemical formulas in secondary education in France. This research includes the design and the implementation of a course scenario introducing the basic language of chemistry with two main features: it is based on history of science and it takes the distinction between models and reality into account. The issue concerns its use and acceptance by teachers.

The creation of this learning tool was carried out with the support of theoretical frameworks that deal with educational reconstruction of teaching-learning sequences –the educational reconstruction, including historical materials (de Hosson, 2011) and the *model of educational reconstruction* (Duit et al., 2012)– that address the analysis of teaching practices, the double didactic and the ergonomic approach (Robert y Rogalski, 2002). The educational reconstruction includes clarifying the content, eliciting the students' difficulties, determining the teachers' needs, building a pilot resource, appropriating and using this resource by volunteer teachers, analysing the implementation in the classroom, modifying the pilot resource. The clarification of the content is thus achieved throughout a historical research work so as to highlight the features of the development of the chemical content which is under scrutiny.

Preliminary empirical studies conducted with students and some teachers showed the need to articulate the registers of models, reality and language at the submicroscopic and macroscopic levels for learning the concepts of chemical change and chemical reaction. These registers and levels are the backbone of the didactic framework that guided the analyses.

The historical research work revealed several controversies surrounding the working out of chemical formulas during the first half of the 19th century. It showed that chemical formulas of water and simple bodies (elements) have evolved according to the line of thought of the chemist, his reference model and his empirical knowledge.

A first labelled pilot resource has been worked out. The course scenario included two parts: on the one hand, students are told to choose between different symbols proposed by chemists (Hassenfratz y Adet, Dalton, Berzelius) to realise that the language of chemistry is a human construction that is subject to evolution; on the other hand, some Dalton's and Gaudin's texts are presented to the students to make them develop the tools that enabled chemists to construct the formulas of water, oxygen and hydrogen.

The implementation of the first part of the project by one of the teachers, who had been observed the previous year in an ordinary teaching session, was studied. His class management was unchanged, the used terms regarding the macroscopic empirical level and the submicroscopic model were still imprecise, but the tasks had more varied goals, students proposed a wider range of writing chemical formulas (e.g. OCO, COO, OOC) which were accepted by the teacher. The post-session interview showed that he still did not grasp the metalevel role of the symbolic language and did not see the need to justify the chemical formulas.

The second part of the study, which allows to think of the reasons that justify the chemical formulas, was rejected by two teachers, who considered it to be too complex. This led to a first proposal of evolution of the resource. We totally modified the second part of the resource. We targeted the opposition between Dalton's ideas and those of atomist-organic chemists on chemical formulas. To make this problem more accessible, historical texts are replaced by dialogues between fictional characters. One teacher agreed to test them. The analysis of this experiment is still going on.