

Enseñar formulación. Unos comentarios a los comentarios

Manuel Fernández-González

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada (España). E-mail: mjfgfaber@ugr.es

[Recibido en junio de 2014, aceptado en julio de 2014]

El presente trabajo analiza un artículo de réplica (Olivares Campillo, 2014) al que publiqué anteriormente sobre la enseñanza inicial de la formulación química (Fernández-González, 2013). Destaca la disparidad de enfoques de ambos, pues mientras el original está instalado en la didáctica de las ciencias, el de réplica se centra en lo disciplinar. Este ve entonces como errores lo que, por transposición didáctica, son adaptaciones del saber experto para alumnos de ESO. Se defiende la coherencia de la propuesta hecha para la formulación, que se basa en el modelo histórico de átomo y en el concepto de valencia. Dicha propuesta se presenta como un modelo escolar, sujeto a evolución y cambio, a medida que el alumno avanza en sus etapas curriculares. A falta de referencias al CDC, las críticas se centran en aspectos normativos y disciplinares, que son respondidas en las páginas que siguen, donde se subraya que la formulación es un medio en el aprendizaje de la Química y no un fin en sí misma.

Palabras clave: enseñanza de las ciencias; formulación química; modelo escolar; transposición didáctica; enfoque disciplinar.

Teaching chemical formulation: Comments on the comments

This paper analyzes the comments that were published (Olivares Campiño, 2014) in response to a previous article of mine on the teaching of chemical formulation in the secondary school classroom (Fernández-González, 2013). It highlights the disparity between the science teaching approach in my article and the discipline-oriented approach in the comments responding to my article. The author of the response interprets the differences between the two approaches as errors when these differences actually stem from a process of didactic transposition that adapts expert knowledge to the needs of secondary school students. This paper defends the coherence of my proposal for the teaching of chemical formulation, which is based on the historical atomic model and the concept of valence. This proposal is thus a science classroom model, which can change and evolve as the student reaches higher academic levels. Without a single reference to PCK, the response to my article mainly focuses on aspects related to norms and standards as well as to the discipline itself. This paper satisfactorily addresses these criticisms and underlines that formulation is a means of learning Chemistry and should not be conceived as an end in itself.

Keywords: science teaching; chemical formulation; classroom model; didactic transposition; discipline-oriented approach.

Introducción

Ante todo, considero motivo de satisfacción el ver replicado mi trabajo sobre la enseñanza inicial de la formulación química (Fernández-González, 2013). El debate sobre un tema tan crucial puede resultar de sumo interés a cualquier profesor para contrastar sus ideas. En cuanto a mí, me ofrece, además, la ocasión de precisar la propuesta. Como no podía ser de otro modo, las opiniones que voy a exponer están sustentadas en la didáctica de las ciencias y, por tanto, mis comentarios descansan en posiciones de ella ampliamente compartidas.

Sobre el artículo de réplica (Olivares Campillo, 2014) debo decir que está bien construido y que salta a la vista que su autor conoce bien la teoría química y la normativa IUPAC más reciente. ¿Y entonces? Pues si su objetivo es hacer una crítica del artículo de origen hay que sopesar si se centra en su temática y si los argumentos están bien dirigidos.

De entrada, lo que más destaca al comparar ambos artículos es la disparidad de enfoques. El de partida está centrado en el *alumno* que ha de aprender, mientras que el que acaba de

presentarse está instalado en lo *disciplinar*. El primero desarrolla, sobre todo, el conocimiento didáctico del contenido, el segundo ignora este y dirige su atención al saber erudito. La prueba: si hacemos una búsqueda de la palabra *alumno*, en el artículo original aparece 24 veces; en el de réplica, 2. En este, además, no encontramos cita bibliográfica alguna sobre didáctica de las ciencias. Por tanto, ¿qué análisis del primero cabe hacer desde la óptica del segundo? Sólo de la parcela de contenidos disciplinares, sacada de contexto.

Puede entonces entenderse que el artículo de réplica vea como “errores” del artículo original lo que son adaptaciones del saber experto para ponerlo al nivel de los alumnos. La concepción disciplinar es como una luz que ciega e impide ver el discurso didáctico de base, que es el esencial, y el que sirve de soporte a los contenidos disciplinares.

Puede comprenderse igualmente que mientras el artículo de origen presta toda su atención al aprendizaje inicial de la formulación, el artículo de réplica se centre en la formulación misma, y se dedique a puntualizar sobre contenidos académicos y normativos, difícilmente aplicables a la etapa a que nos referimos (ESO). Esto, por otra parte, pone de manifiesto una visión irreal de lo que es dicha etapa y de lo que es exigible a alumnos de estas edades.

Porque el enfoque disciplinar a nivel superior puede ser adecuado, pero en secundaria avanzada es impropio, y en secundaria inicial, catastrófico. Recordemos que la didáctica de las ciencias, en la que estamos instalados muchos de nosotros, surgió precisamente para corregir los excesos de una enseñanza tradicional centrada en la propia disciplina.

Un “error” (este de tipo semántico) que airea el autor repetidamente es que en el artículo primero se habla de “nomenclatura y formulación”, en lugar de “nomenclatura”, término que engloba a ambos, como hace la IUPAC (p. 417). La cuestión, a mi juicio, no tiene la importancia atribuida. Me he permitido, pues, seguir empleando los términos iniciales, que, por ser más entendibles, son los que solemos usar los profesores. Es más, cuando hablamos corrientemente de “formulación” implicamos también a la nomenclatura.

De todos modos, quisiera ser comprensivo con el enfoque disciplinar porque por él hemos pasado todos, como consecuencia natural de un sistema educativo que no contempla más que ciencia pura y dura en su nivel de especialización y, por tanto, proyecta este mismo esquema en la enseñanza a cualquier nivel.

El contexto

La crisis actual de la enseñanza de las ciencias es una evidencia. Su signo más palpable es la drástica disminución del número de alumnos que se encaminan a estos estudios. Esto es más grave de lo que se piensa porque tiene repercusiones políticas y sociales para el desarrollo de un país (ver informe Rocard, 2008). Desde principios de los 90, organismos educativos como la AAAS han apuntado las causas de esta situación, recayendo la responsabilidad en el modo en que se enseñan las ciencias: contenidos muy teóricos y metodología tradicional.

Por si esto fuera poco, la Química añade a lo anterior una barrera inicial, una especie de peaje conceptual desmesurado que se concentra en torno a la formulación. La estrategia empleada, ya sabemos, consiste en movilizar un *pack*, donde la formulación no se vende suelta sino envasada junto a tabla periódica, estructura atómica, teoría de enlace y otros conceptos teóricos. El impacto que recibe el alumno que se inicia en el aprendizaje de la Química (3º-4º ESO) puede marcarlo, y sus consecuencias anímicas no se hacen esperar: desánimo y falta de motivación.

Pero en lugar de corregir la situación, se piensa, por el contrario, que los alumnos terminarán siendo beneficiados porque así “estarán bien preparados para los estudios futuros” (¿Nos

suenan la frase?). Con ello se olvida que la ESO es una etapa con objetivos en sí misma y no un propedéutico para el bachillerato y la universidad (Acevedo, 2004). Sin contar, además, que el porcentaje de alumnos de ESO que luego siguen el bachillerato de ciencias no llega al 30% (MEC, 2005) y el de los que terminan en una carrera que implique Química es mucho menor (¿un 10%?). Lo suyo entonces debe ser una formación integral que contemple lo que es más importante para todos, esto es, las reacciones, la química de los materiales y la química cotidiana.

A este respecto, es de señalar que, por mucho que he insistido que mi referencia es la etapa de 3º- 4º de ESO, en la crítica se incluyen alusiones al bachillerato y a las pruebas de selectividad (p. 423), y no se renuncia a la idea de atiborrar de contenidos teóricos la enseñanza, pese a que en 3º de ESO se dispone de dos horas semanales y que parte de los alumnos ni siquiera elegirá la misma asignatura en 4º.

Otra frase tópica, emparentada con la anterior, y que, como ella, brinda la excusa favorita para actuaciones excesivas es la de “para saber Química, hay que conocer primero su lenguaje”.

Nada que objetar si este lenguaje a aprender no sobrepasa al de las sustancias químicas que van a estudiarse, y que son estas las que establecen los límites. La estrategia es propia de enfoques didácticos actuales: los contenidos teóricos se seleccionan en razón de su utilidad para tratar la cuestión que se propone. Pero en la enseñanza que suele practicarse la formulación se expande sin control, erigiéndose en objeto de estudio por sí misma. El artículo de réplica se encuentra en esta línea. No asume que el lenguaje de la química debe ser un medio y no un fin. Por consiguiente no debería convertirse en un obstáculo para su aprendizaje sino todo lo contrario.

Un ejemplo personal. En el Master de Secundaria, tras proponer un trabajo sobre qué formulación enseñar en la ESO, comprobé, estudiando los datos recibidos, que prácticamente todos los estudiantes incluían los hidruros metálicos. Pregunté entonces a los químicos si tras cinco años de carrera habían visto alguna vez uno de tales compuestos. El silencio fue significativo.

Coherencia y carácter abierto de la propuesta

Frente a las calificaciones de incoherencia recibidas, creo sin embargo que el esquema propuesto muestra una singular coherencia interna. El reto ha sido idear un procedimiento de formulación que, empleando el menor número de ideas, facilite el aprendizaje inicial a los alumnos. Para ello he seguido dos premisas básicas: 1ª) Desligar la formulación de temáticas colaterales que suelen acompañarla; 2ª) Acercarla en lo posible al uso cotidiano. La 1ª supone prescindir de la estructura electrónica del átomo, de la teoría de enlace y sus tipos, y de la tabla periódica. La 2ª se refiere sobre todo al empleo de la nomenclatura.

La tarea de llevar a cabo estas iniciativas no ha sido fácil. He colocado el concepto de valencia (en lugar del *nox*) como eje central de la propuesta. Valencia se entiende en su sentido original, es decir, número de enlaces que puede formar el átomo de un elemento con el de hidrógeno. Permite cumplir con la premisa 1ª porque puede enseñarse de manera muy simple (sin descender a su base electrónica) y resulta, además, intuitivo para alumnos iniciales.

Al prescindir de la estructura del átomo, el concepto de ion queda fuera del esquema. En los casos de iones poliatómicos hablamos entonces de “grupo con valencia”. Lo mismo podría decirse del enlace: si no se considera la estructura electrónica, el único supuesto es que los átomos pueden unirse, sin descender a cómo ni de qué forma. En cuanto a la tabla periódica, su desconexión se facilita por el hecho de reducir al mínimo el número de elementos a

estudiar, con lo cual se consigue también subrayar la importancia de la unión entre elementos (base de la formulación), más que de los elementos mismos (base de la TP).

Por otra parte, el concepto de valencia sustituye al de número de oxidación (nox), que es el habitual. El primero es más intuitivo y se presta al apoyo de los modelos moleculares comunes. El segundo es más teórico, no es representable por los modelos moleculares, y, además, difícilmente puede cumplir con la premisa 1ª por su relación con la teoría de enlace. Impone, por otra parte, memorizar los diversos valores atribuidos a cada no metal. O memorizar sus reglas, las cuales suponen conocer de antemano el tipo de compuesto (o de enlace) para elegir un valor. Así por ejemplo, para el H tenemos: +1, y -1 en los hidruros (sin olvidar el 0); y para el O: -2, y -1 en los peróxidos (sin contar +2 en el OF₂).

Es cierto que, superada esta barrera, el procedimiento para alcanzar una fórmula viene guiado por la regla del cero en la suma de los nox. Pero nuestra propuesta también dispone de otra regla igual de sencilla como es la de no dejar valencias libres. En ella, además, sólo se memoriza la valencia de los metales y de algunos no metales como H, O y C.

Vuelvo a señalar que desligar la enseñanza de la formulación de los tópicos antes citados no quiere decir que estos no se estudien. Se hará incluso en la misma etapa de ESO y en cursos sucesivos, para los alumnos que sigan ciencias. La idea fundamental es que los alumnos comiencen a formular con una base conceptual mínima y, posteriormente, vayan afianzando el proceso.

Insisto igualmente en el carácter *abierto* de la propuesta, que “una vez consolidada admite nuevas incorporaciones, tanto de elementos como de compuestos” (p.691). Pero la perspectiva disciplinar difícilmente se adapta a niveles inferiores y se rebela ante la iniciativa de reducir drásticamente el número de elementos de partida. Con ellos – se dice – sólo son posibles 50 sustancias (p. 422), “un número comparable al de las que pueden salir en un solo examen” [!].

Transposición y modelos de enseñanza

Una tarea fundamental en la enseñanza, practicada por los profesores y reflejada en los libros de texto, es la de adaptar los contenidos al nivel de los alumnos. Se conoce como transposición didáctica y consiste en el paso del saber especializado al saber escolar. A este fin el primero ha de sufrir “un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza” (Chevallard, 1997: 45). Por supuesto que tales transformaciones van a estar guiadas por un adecuado conocimiento didáctico del contenido sobre las dificultades de aprendizaje de los alumnos, las metodologías de enseñanza, el uso de la historia, los recursos didácticos, etc.

La formación de un alumno que llegue hasta el grado de experto supone recorrer a la inversa, es decir de modo ascendente, el camino de la transposición. En consecuencia, la enseñanza de un mismo tema, al pasar de un nivel a otro, adiciona contenidos y suele ser interpretado sobre bases teóricas diferentes, con conceptos nuevos y otros modificados (Johsua y Dupin, 1993: cap.4).

Habitualmente los contenidos se encuentran conectados entre sí formando un modelo que permite la explicación y manipulación de la realidad. Su uso en ciencia y en la enseñanza es bastante frecuente, pero suelen señalarse diferencias esenciales entre modelo científico y modelo escolar (Gilbert *et al.*, 2000). La ciencia escolar utiliza modelos propios que se derivan de los modelos científicos por transposición (Sanmartí, 2000: 248).

Mi propuesta es un *modelo* de enseñanza de la formulación, que se asienta sobre una red de conceptos y establece unas reglas de funcionamiento. En su elaboración se han utilizado diversas estrategias de transposición a fin de adaptarlo mejor a niveles iniciales. Entre ellas, cambiar la base conceptual sustituyendo el concepto de nox, y los contenidos que suelen acompañarlo, por el concepto de valencia, mucho más simple e intuitivo. A este propósito cabe recalcar su afinidad con los modelos moleculares de bolas y varillas, que visualizan bien las uniones entre los elementos de una sustancia.

Un modelo de enseñanza puede coexistir bien con otros. Por ejemplo, nuestro modelo de formulación puede coexistir con el modelo de enlace, dentro del mismo nivel inicial. El primero no tiene en su base el concepto de ion y, en cambio, el segundo sí y por tanto será enseñado como prerrequisito. Aunque muestren ideas no coincidentes, para evitar las interferencias basta que se respete el ámbito de utilización de cada uno.

Si consideramos ahora el progreso del alumno, al ir subiendo de nivel, los nuevos modelos pueden modificar los presupuestos de los anteriores (Mohan *et al.*, 2009). Así ocurrirá con nuestro modelo de formulación, que dejará paso a otro cuya base teórica no será la misma. El nuevo podrá girar en torno al concepto de nox, e ir estableciendo conexiones con campos conceptuales próximos como configuración electrónica, tabla periódica y teoría de enlace. Se podría objetar que cualquier cambio de las bases teóricas puede resultar un obstáculo para el progreso del alumno. Esto no es necesariamente así. Recordemos, si acaso, nuestra propia experiencia de estudiantes.

Bajo el punto de vista disciplinar, sin embargo, las cosas se contemplan de otro modo. Así, la adaptación se concibe sobre todo recortando contenidos, más que intentando modificaciones para adecuarlos al alumno. También se mira con recelo la evolución de las bases teóricas, pues muestra la ciencia como algo cambiante y, por otra parte, no se confía en la capacidad de acomodación del alumno a las nuevas ideas.

La inmersión en la historia

Se reprocha que un concepto como el de valencia, que aparece en la propuesta, es obsoleto (p. 419). Ante esto, voy a añadir algo más al argumento, aunque se utilice en mi contra. Para enseñar formulación a nivel inicial de modo simple y sin interferencias recorro a los conceptos más primigenios de átomo: entidad última sin estructura; de enlace: simple unión de átomos; y de valencia: número de enlaces de un átomo. Asumo entonces el modelo de átomo del siglo XIX.

¿Debo pedir perdón por no guardar en el baúl estos conceptos tan primitivos? No somos los únicos en actuar de esta manera (Besson, 2013). Otros autores también propugnan que en las primeras aproximaciones se pueda utilizar una regresión a concepciones científicas del pasado, como, por ejemplo, el calor como sustancia (Hierrezuelo y Montero, 1991: 123), o el modelo geocéntrico para explicar “cómo cambia el movimiento del Sol a lo largo del año” (López-Gay *et al.*, 2009), o el modelo mecanicista de Lemery (s.XVII) para explicar las reacciones ácido-base (Jiménez-Liso *et al.*, 2010).

Reflexionemos entonces un poco más sobre esta cuestión. El modelo de Rutherford ¿puede considerarse obsoleto? Diríamos que sí, pero junto al modelo de Thomson son los dos únicos que figuran en el programa oficial de 3º de ESO (MEC, 2007: 696). ¿Cómo se entiende esto?

Lo que ocurre es que en ciencia tiene prioridad la capacidad de una idea o modelo para generar descripciones, explicaciones y predicciones de un conjunto de hechos, previamente delimitado (Erduran, 2007). Puede ser, por tanto, adecuado para un ámbito restringido y no

valer si este se amplía. El modelo de Rutherford es adecuado para describir lo más esencial de la estructura del átomo, y si se amplía el campo de estudio a la energía en el átomo, ya no vale. El concepto clásico de masa se sigue estudiando (con preferencia al de masa relativista) porque describe, explica y predice de un modo más simple los fenómenos mecánicos en condiciones ordinarias. Igualmente, en cualquier libro de Primaria podemos encontrar la orientación terrestre expuesta de manera elemental recurriendo a criterios geocéntricos.

El autor señala que la teoría de Lewis es “un modelo limitado pero que da mucho con muy poco” (p. 421). No le falta la razón. Pese a que desde su óptica (no desde la mía) podría apuntarse que transmite una idea del electrón como partícula puntual que contradice la concepción cuántica moderna. Comparemos entonces el modelo de Lewis con nuestro modelo, que es un modelo limitado de enseñanza de la formulación. ¿No puedo decir igualmente que, a una escala menor también “da mucho con muy poco”?

Otros comentarios a objeciones concretas

En la exposición anterior se han dado respuesta a las objeciones generales. Aquí proseguimos con otras más concretas.

Fórmula del agua

- *Objeción*. “No queda tan claro... por qué no se escribe OH_2 ” (pp. 419-420).

- *Comentario*. Cuando un alumno de ESO, siguiendo la propuesta y por *primera* vez llega a OH_2 , o a HHO , no debe haber inconveniente en darle por buena la respuesta porque ha acertado lo principal, esto es, los elementos componentes y su relación numérica. A continuación se le indica, sin más, que suele escribirse H_2O .

- *O*. Tampoco queda claro que sea H_2O pues “cualquier alumno podría preguntar que por qué el agua no es H_2O_2 o H_2O_3 , etc.” (pp. 419-420).

- *C*. Aunque está implícito en la propuesta, es cierto que podría haberse subrayado para los casos que van a verse que la unión de valencias se hace entre átomos o grupos *diferentes*. La propuesta inicial no considera los peróxidos (cuando posteriormente se llegue – si es el caso – a H_2O_2 , no habrá inconveniente en explicar la unión O-O).

Fórmula del dióxido de carbono

- *O*. “Se llega también directamente a dos oxígenos y un carbono con los números de oxidación: para que la suma sea cero con +4 y -2 basta hacer +4-2-2” (p. 420).

- *C*. Sí, pero se omite que, además de esta opción, habría otras tres más: a) $\text{nox}(\text{C})=+2$ y $\text{nox}(\text{O})=-2$, que daría CO ; b) $\text{nox}(\text{C})=+4$ y $\text{nox}(\text{O})=-1$, que daría CO_4 ; c) $\text{nox}(\text{C})=+2$ y $\text{nox}(\text{O})=-1$, que daría CO_2 (con enlaces sencillos). ¿Por qué el alumno tiene que saber que aquí se cumple la primera opción? Y si la sabe es porque *ya* conoce la fórmula y sus enlaces.

- *O*. “Volviendo al CO_2 , no hay que creer que dos dobles enlaces son la única solución para esa estequiometría: el SiO_2 de la arena de la playa satura las valencias 4 del Si y 2 del O con enlaces sencillos” (p. 420).

- *C*. La propuesta tiene como solo objetivo deducir la fórmula. Por ello, y como se ha repetido, cuida de dejar al margen todo lo referente al enlace (p.689).

Fórmula del monóxido de carbono

- *O*. Para deducir la fórmula del monóxido de carbono “con la valencia 2 del carbono... la respuesta sólo puede ser $\text{C}=\text{O}$, lo que da la composición correcta, pero origina un nuevo

problema porque en esta molécula no hay un enlace doble” (p. 420). Se señala a continuación que el CO muestra un orden de enlace 3, por lo cual la valencia del C y del O es 3 y, sin embargo, sus nox son +2 y -2, respectivamente (pp. 421).

- C. Esto es cierto, como lo es el carácter *sui generis* de la molécula CO. Pero pasemos al ámbito escolar y, además, inicial. No cabe imaginar el grado de complicación al que podría llegarse si a nivel inicial introducimos dos valencias diferentes para el O: la de siempre (2) y la nueva (3) para justificar una excepción (¿estarían dispuestos los fabricantes a incluir en sus cajas de modelos, bolas rojas con esta nueva disposición?). En este caso proponemos arrinconar el saber experto y seguir atribuyendo valencia 2 al O y al C, lo cual también conduce a la fórmula correcta, y sin complicaciones.

¿Tan descabellado es esto? Creemos que no. Hasta hace sólo varias décadas los químicos estudiaban el CO como sede de un doble enlace, que descansaba en la sempiterna valencia 2 del O, avalada por su configuración electrónica. La concepción actual supone un logro teórico interesante aunque de repercusiones muy limitadas. Siguiendo las ideas antes expuestas sobre la evolución de los modelos de enseñanza, la solución es olvidar el saber experto a nivel de secundaria y advertir a los alumnos que lleguen al nivel superior, como ocurrió con nosotros, de que aquello ha sido una interpretación inicial y que ahora ha de ser reinterpretada.

Y si alguien tiene reparos en llevar la transposición (para el CO) a extremos de alterar la valencia, quizás deberíamos tener presente el ejemplo de Atkins (1992), que tras exponer a nivel de experto los conceptos de calor y trabajo en termodinámica, percibe que, si se instala en ese nivel, su discurso se alejaría de lo habitual y no conectaría bien con los alumnos. Ante esta tesitura propone:

“Seguiremos utilizando la forma habitual de referirnos al calor y al trabajo, y construiremos frases como ‘el calor pasa al sistema’. Aunque, cuando así hagamos, añadiremos como en un susurro, ‘pero ya sabemos lo que realmente queremos decir con esto’ ” (p. 24).

”Grupo con valencia”

- O. “También se quiere sustituir el concepto de ion por el de grupo con valencia propia”; “Lo que resulta al quitar un átomo de hidrógeno a la molécula de agua es el bien conocido radical hidroxilo” (p. 419).

- C. En coherencia con las bases de la propuesta, no se considera la estructura de los átomos y, por tanto, los iones. En cambio, el autor, al hablar de radicales, está haciendo una interpretación basada en la teoría electrónica. Nos situamos pues en dos planos diferentes. Dentro de mi modelo, cuando una molécula de agua o de ácido pierde “un H” (p. 689) sólo puede conducir a un “grupo con valencia”. Bajo la perspectiva del autor, si “un H” se interpreta como un átomo de hidrógeno, daría lugar a radicales; o si se interpreta como un ion hidrógeno produciría iones. Todo ello es correcto.

Normas IUPAC

- O. Las normas IUPAC no son recogidas en la propuesta, lo cual se contempla con preocupación porque en las pruebas P.A.U. de algunas comunidades se exigen “y más pronto que tarde ocurrirá lo mismo en todas” (p. 423).

- C. Nuestra propuesta es para alumnos de ESO, no para otros que están a punto de entrar en la universidad. Es, además, abierta y evolutiva. Esto está claro en el artículo inicial ¿Por qué entonces se repiten afirmaciones como esta?

Por otra parte, y en cuanto a la implantación en las pruebas P.A.U., más vale que la predicción no se cumpla. Además, y dicho sea de paso, no faltan en la literatura didáctica críticas a la estructura y orientación de las pruebas citadas (Gutiérrez *et al.*, 2008).

- O. Sobre la no mención de las normas IUPAC por parte de los futuros profesores en una prueba realizada, se dice que “puede deberse simplemente a que no las conozcan, pero también a que no se les haya preguntado por ellas” (p. 423).

- C. Difícilmente se podría preguntar por ellas en una prueba que, como se indica (p. 681), era abierta.

Nomenclatura sistemática

- O. Mi afirmación de que la nomenclatura sistemática va a reservarse para compuestos binarios de no metales recibe también sus críticas (pp. 422-423).

- C. La verdad es que yo sólo pensaba en los casos del CO y CO₂, y del NO y NO₂. Pero no lo especifiqué. Esto da pie al autor para añadir compuestos como “los seis óxidos del nitrógeno” y algún otro “importante” de cloro y oxígeno como “O₂Cl”, que difícilmente encajan en un nivel como el de ESO. Aquí reconozco que la responsabilidad ha sido mía: he dejado la puerta entreabierta y se me ha colado en tropel toda la caballería disciplinar.

Ácido clorhídrico / Cloruro de hidrógeno

- O. “Ácido clorhídrico no es el nombre de la sustancia de fórmula HCl” (p. 419); “se trata de un error muy extendido” (p. 419).

- C. Cierto que no es el nombre académico de la sustancia pura. Todos los químicos lo sabemos. Pero también conviene saber que históricamente el HCl ha sido llamado ácido clorhídrico hasta bien avanzado el siglo XX (sin ningún obstáculo para el desarrollo de la Química). A partir de los años 20 comienzan a utilizarse dos nombres para diferenciar el compuesto puro de su disolución, en el caso de los hidrácidos.

No obstante, he decidido utilizar el término “ácido clorhídrico” y no cloruro de hidrógeno porque al incluir el HCl entre los demás ácidos (p. 690), esta denominación es más acorde y evita dar explicaciones adicionales. Una segunda razón es que el término “ácido clorhídrico” es muy frecuente en nuestra vida cotidiana (premisa 2^a), tanto dentro del laboratorio como fuera, donde podemos encontrarlo en algún producto doméstico.

La misma American Chemical Society, en un libro de texto reciente, escrito por profesores de bachillerato y universidad, y dirigido a alumnos de nivel medio avanzado, no tiene inconveniente en hablar de “ácido clorhídrico” de fórmula “HCl” (ACS, 1998: 51). ¿Deberíamos llamar al orden a la American Chemical Society?

La IUPAC

“De la nomenclatura de la Química se ocupa – y debe ocuparse – la IUPAC. Esto debería estar fuera de toda discusión, y más a unos niveles iniciales” (p. 417).

Vayamos por partes. La IUPAC es un prestigioso organismo internacional, formado por expertos en las distintas ramas de la Química, cuya labor es fortalecerla en los campos académico e industrial. Como otras instituciones científicas y literarias del mismo tipo, la IUPAC cumple con una misión relevante. Abarca dominios muy diversos que son objeto del trabajo de 15 Divisiones que forman su estructura (ver: www.iupac.org/). Entre ellos, nomenclatura, terminología, masas atómicas, estándares de medidas, protocolos analíticos, tablas de datos, etc. No se puede negar que nos encontramos en la sede del saber disciplinar.

En el ámbito académico una de las labores más conocida es la referente a la nomenclatura. En este dominio la IUPAC publica recopilaciones y puestas al día sobre los diversos campos de la Química, algunas muy específicas (p.ej. flavonoides) y otras más generales (p.ej. inorgánica). El llamado “Libro Rojo” trata de esta última. Todas las publicaciones contienen, por supuesto, una normativa dirigida a expertos, tanto investigadores, como químicos industriales, autores de manuales y profesores.

¿Vale entonces para nuestros alumnos de ESO? Pensemos que lo especializado suele alejarse de la realidad escolar y cotidiana, donde se manejan nombres que no siempre coinciden con los propuestos por la normativa. ¿Por qué entonces queremos imponer a nuestros alumnos iniciales normas que a veces ni se siguen unánimemente en los niveles superiores? ¿Por qué intentar hacerlos expertos prematuramente? ¿No es un contrasentido comunicar saber experto a alumnos que en su gran mayoría no van a seguir estudios de ciencias?

Por cierto, en el título oficial del “Libro Rojo”, *Nomenclature of Inorganic Chemistry. IUPAC Recommendations 2005*, aparece una palabra a la que no se le presta atención: “Recommendations”. Esto significa que la propuesta de la IUPAC, aquí, como en otras obras similares, no es un precepto sino una sugerencia y, como tal, podría no seguirse, sin que esta decisión se contemplara como “error”.

Asistimos aquí a un fenómeno de comunicación por el cual al salir la información de la fuente original termina siendo deformada por las fuentes secundarias. En nuestro caso, el significado original de “recomendaciones” al pasar a segundas manos termina adquiriendo tono imperativo y se convierte en “mandato”, lo que revela una actitud de obediencia ciega a lo que dicen las normas.

Y entonces, si son recomendaciones ¿por qué no hemos empezado por ahí?

¿Qué hacer entonces?

Como antes se ha dicho, en el ámbito de la enseñanza de las ciencias nos encontramos en una situación de emergencia y en la Química concretamente, con un particular rechazo provocado por el enorme esfuerzo intelectual que se exige en su inicio. ¿Qué debemos hacer los profesores? ¿Cruzarnos de brazos y seguir con un poco más de lo mismo, o bien, dentro de nuestras posibilidades (que son más de las que suelen admitirse), tratar de cambiar este estado de cosas?

La crítica que se me dirige pone su diana en contenidos académicos y normativos. No va acompañada de lo que es más difícil: una propuesta para salir de la situación. En cuanto a la mía, podrá discutirse su mayor o menor acierto, pero es al menos una propuesta para que los alumnos aprendan formulación... y sobrevivan en el intento. Añado que la experiencia habida en su práctica me ha reafirmado en ella, porque les ha permitido sentar las bases de la formulación e iniciar una marcha progresiva en este campo. Para ellos ha constituido un objeto de estudio sugerente e incluso divertido (sí, he dicho divertido). Las críticas señaladas se dirigen no ya sólo a neutralizar la propuesta, sino a volcar la situación aún más del lado de la pura ortodoxia. Y todo ello sin aportar nada al conocimiento didáctico del contenido. Me ratifico pues en la propuesta de formulación dada a conocer, aunque para llevarla a cabo haya tenido que pasar de puntillas sobre el “Libro Rojo” y sobre la “sencilla” molécula de monóxido de carbono.

Referencias bibliográficas¹

- ACEVEDO DÍAZ, J.A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las Ciencias: Educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-16.
- ACS (AMERICAN CHEMICAL SOCIETY) (1998). *QuimCom. Química en la comunidad*, 2ª ed. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana.
- ATKINS, P.W. (1992). *La segunda ley*. Barcelona: Prensa Científica.
- BESSON, U. (2013). Historical Scientific Models and Theories as Resources for Learning and Teaching: The Case of Friction. *Science & Education*, 22(5), 1001-1042.
- CHEVALLARD, Y. (1997). *La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- ERDURAN, S. (2007). Bonding epistemological aspects of models with curriculum design in acid/base chemistry, en Izquierdo, M., Caamaño, A., Quintanilla, M. (Eds). *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*, pp. 41-72. Barcelona: UAB.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M. (2013). La formulación química en la formación inicial del profesorado: Concepciones y propuestas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(Extraordinario), 679-693.
- GILBERT, J.K., BOULTER, C.J. y ELMER, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J.K. Gilbert y C.J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education*, pp. 3-17. Dordrecht: Kluwer
- GUTIÉRREZ, M.S., GÓMEZ, M.A. y MARTÍN-DÍAZ, M.J. (2008). ¿Basta con decretar un nuevo currículo de química? *Alambique*, 56, 20-27.
- HIERREZUELO MORENO, J. y MONTERO MORENO, A. (1991). *La ciencia de los alumnos*. Velez-Málaga: Elzevir.
- JIMÉNEZ-LISO, M.R., LÓPEZ-GAY, R. y MÁRQUEZ, M.M. (2010). Química y cocina: del contexto a la construcción de modelos. *Alambique*, 65, 33-44.
- JOHSUA, S. y DUPIN, J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: PUF.
- OLIVARES CAMPILLO, S. (2014). ¿Formulación química? Nomenclatura química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 416-425.
- SANMARTÍ, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F.J., Perales y P. Cañal (Eds.) *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, pp. 239-266. Alcoy: Marfil.
- LÓPEZ-GAY, R., JIMÉNEZ LISO, M.R., OSUNA, L. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J. (2009). El aprendizaje del modelo Sol-Tierra. Una oportunidad para la formación de maestros. *Alambique*, 61, 27-37.
- MEC (MINISTERIO DE EDUCACIÓN y CIENCIA). OFICINA DE ESTADÍSTICA (2005). *Estadística de la Educación en España, 2002-2003*. Madrid: Secretaría General Técnica.
- MOHAN, L., CHEN, J. y ANDERSON, W.A. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.

¹ Complementarias a la que figuran en el artículo original.