

Estudios originales y rigurosos de interés general que involucren análisis, organización sistemática y reflexionada, explicación teórica y predicciones viables.

# Hermenéutica de un tema de química general en un “best seller”

José Luis Córdova F.,<sup>1</sup> Antonia Dosal,<sup>2</sup> Víctor Feregrino,<sup>3</sup> Laura Ortiz E.,<sup>3</sup> Clemente Reza<sup>3</sup>

No busco evitarle a nadie el trabajo de pensar  
*Ludwig Wittgenstein*

## Abstract

The hermeneutical analysis allows authors to think about the theme “ponderal relations in the chemical change” and the kind of learning posed by a textbook classified as a “best seller”. This theme, on account of treatment and presentation, strengthens the algorithmic learning more than the significative one. In this situation also incide the traditional curriculum and the commercial trends of the editorial industry. We propose, as plausible hypothesis, that obscurity and ambiguity in chemistry textbooks reinforce student’s attitudes and dispositions against the significative learning. We verify that the analyzed theme in this textbook has no shortage of obscure, ambiguous and mistaken statements.

## 1. Resumen

A partir del análisis hermenéutico del tema “relaciones ponderales en el cambio químico” reflexionamos acerca del tipo de aprendizaje que propicia un texto de Química General que ha tenido grandes ventas. El tema analizado, por su tratamiento y presentación, más que contribuir a la cultura científica y al aprendizaje significativo refuerza el aprendizaje algorítmico. Esto se propicia, además, por la disminución de las habilidades fundamentales del estudiante, el peso de un currículo tradicional y el mercantilismo creciente de las industrias editoriales. Proponemos, como hipótesis plausible, que la oscuridad y ambigüedad de los textos de Química refuerzan actitudes y disposiciones del estudiante contrarias al aprendizaje significativo. Constatamos que el tema analizado, en el texto elegido, abunda en enunciados oscuros, ambiguos y erróneos.

<sup>1</sup> cts@xanum.uam.mx CTS, UAM-Iztapalapa,

<sup>2</sup> dosala@servidor.unam.mx, Facultad de Química UNAM.

<sup>3</sup> lauroze@hotmail.com, ESQUIE, IPN.

**Recibido:** 20 de septiembre de 2002; **aceptado:** 4 de enero de 2003.

## 2. Objetivos

Puesto que el aprendizaje del estudiante no se limita al aula, es obvia la conveniencia de considerar las actividades del alumno fuera de ésta, así como los textos y apoyos empleados para lograr el aprendizaje. Entre los libros de Química General recomendados, en el nivel superior, destaca la *Química* de R. Chang, McGraw Hill, 6ª edición, México, 1999, por lo que resulta pertinente analizar el tratamiento de “relaciones ponderales en el cambio químico”, tema fundamental de Química General, a fin de relacionar el tipo de aprendizaje con las características del texto. En este análisis consideramos, además de los enunciados, problemas, fórmulas, diagramas, y los apoyos tipográficos, *p. ej.* balas, columna de apoyo, pantallas, sombreados, tipos en negrita, etcétera.

## 3. Introducción

La hermenéutica es el estudio de los principios generales de interpretación de los textos y suele limitarse a los libros sagrados. No hay alusión irónica al afirmar que los textos actuales de química son sagrados por inmutables e incuestionables. Gillespie (Gillespie, 1997) afirma al respecto que éstos han permanecido más de 40 años sin cambios sustanciales y que tampoco ha habido cambios relevantes en el *currículum*. La hermenéutica, en breve, busca desentrañar el sentido “secreto” de los textos. Con este sentido la define el *Diccionario de Ciencias de la Educación* (Santillana, 1999):

(Del griego *hermeneutikós*, que concierne a la interpretación). En general, significa interpretación, esfuerzo intelectual en la comprensión de un texto y/o en la interpretación de un texto en un contexto, ya sea éste de carácter histórico, filosófico, teológico, científico, literario e incluso artístico. Inicialmente se restringió a la interpretación y comentario de la Biblia.

Generalmente, para el lector de un texto de ciencias sus intereses giran más alrededor del aprendizaje de algoritmos y cierta información. En consecuencia están ocultos: propósitos del texto, concepción de ciencia y aprendizaje, limitaciones del

modelo, alcance de los enunciados, problema que originó tal conocimiento, etcétera. Así, según la competencia, los antecedentes y los intereses del lector habrá elementos y estructuras más o menos manifiestos que le permitirán estructurar la información.

Ahora bien, el pensamiento científico se caracteriza por su lenguaje más preciso y conciso que el muy contextualizado lenguaje cotidiano. Con todo, la influencia decisiva de este lenguaje informal en el tipo de pensamiento ha sido estudiada por numerosos investigadores (Vygotsky, Luria, Lakhoff, Wittgenstein, etcétera) y ha mostrado el vínculo entre el lenguaje preciso y económico con el pensamiento abstracto. En forma análoga, el lenguaje escrito ha llevado al desarrollo de muchos conceptos; a guisa de ejemplo: los números figurados, la numeración arábiga, la notación de Vieta, el álgebra de matrices, la nomenclatura de Lavoisier, el simbolismo de Berzelius y la tabla periódica.

Sin embargo, todo lenguaje (escrito, hablado, formal, informal) presenta el conflicto entre brevedad y claridad, entre economía y precisión, entre texto y contexto. Lo que sigue es una perogrullada, pero perogrullada pertinente: *Toda lectura, como toda escritura, se hace desde un universo conceptual*. Descubrir el universo conceptual del autor (o los editores) es el objetivo de la hermenéutica propuesta en este artículo.

Lo anterior lleva a considerar el principio de parsimonia o de máxima simplicidad como un valiosísimo criterio en la elaboración y revisión de textos científicos, así como en la elaboración de teorías científicas. No es difícil concluir qué tipo de pensamiento propician los textos cuyo lenguaje violenta este principio. De aquí que sea sumamente preocupante el uso en el medio estudiantil (el más sensible del ámbito científico) de libros de texto, *best sellers*, con múltiples fallas didácticas y conceptuales detectables por un análisis hermenéutico (apartado 4.2).

Este problema tiene causas complejas y analizarlas escapa a los objetivos de este artículo, pero podemos mencionar algunas: las variadas y contradictorias funciones de la escuela, la afirmación de papeles sociales mediante el lenguaje, el interés estudiantil de “pasar” a toda costa, los criterios mercantiles de las editoriales, la influencia de las modas y tradiciones en la enseñanza.

#### 4. Marco referencial

Generalmente no reflexionamos en lo que es obvio; así ocurre con el lenguaje, puesto que nos es familiar

no reflexionamos en sus características ocultas: rípios, verborrea, circunloquios, círculos viciosos, peticiones de principio, redundancias, etcétera. No reflexionamos, tampoco, en sus múltiples funciones: expresiva, directiva, argumentativa, interrogativa y ritual.

Los latinos apoyamos el lenguaje hablado con el gestual aprovechando el contexto, esto es, con quién y dónde hablamos, los antecedentes de la plática, su función y mucho más. Frecuentemente compensamos limitaciones de vocabulario y sintaxis con un manejo notable de inflexiones, pausas y ademanes que nos ayudan a precisar el significado y sentido del mensaje. De aquí podemos anticipar las dificultades de traducir al español latinoamericano un texto producido en una cultura distinta.

Las limitaciones intrínsecas a todo lenguaje tratan de ser superadas en los escritos mediante recursos tipográficos, algunos de muy reciente invención, por ejemplo: sombreados, tablas, ilustraciones, fotos a color, columnas de apoyo, etcétera, mismos que hace 25 años no se usaban. Algunos otros, como los signos ortográficos y de puntuación (interrogación, admiración, puntos suspensivos, etcétera) comenzaron a usarse hace unos 400 años. La pesada tipografía de Gutenberg fue reemplazada, hace 500 años, por Aldo Manucio por fuentes muy semejantes a las de este artículo (Baskerville); hace 1,300 años comenzaron a usarse mayúsculas y minúsculas (Alcuino de York) y hace 1,500 años comenzaron a separarse las palabras en el texto escrito. Todos estos recursos tipográficos facilitan la lectura, están a la vista pero no somos conscientes de ellos. De manera semejante, están a la vista (y ocultas) otras características: rípios, redundancias, peticiones de principio, etcétera.

El análisis hermenéutico también considera todos los elementos tipográficos, no sólo los enunciados gramaticales y científicos, para descubrir qué tanto se ocultan o manifiestan las ideas fundamentales en un texto.

Sin duda, la ambigüedad, confusión y oscuridad de los textos de química contribuyen al rechazo del pensamiento científico. En términos amplios, los enunciados omiten si se trata de: dato experimental, generalización empírica, inferencia teórica, caso extremo, supuesto, hipótesis heurística, simplificación, etcétera, y abundan en información de corte “didáctico” y “motivacional”. Tal imprecisión hace que los alumnos “se pierdan” en un mar de conceptos, procedimientos y conclusiones porque no se presentan argumentos y criterios para clasificarlos y organizarlos. A lo anterior debemos sumar la ausencia de

enlaces de cohesión, indicadores modales y conectivos gramaticales, elementos de análisis de este artículo.

#### 4.1 Principio de parsimonia

Propuesto por Guillermo de Occam (1285-1347/49), da precedencia a la simplicidad: de dos teorías debe preferirse la más sencilla. De igual manera, de dos enunciados posibles para un mismo concepto se debe preferir el más sencillo. Este principio ha sido fundamental en la investigación científica, por tanto es plausible su éxito en la enseñanza de ciencias.

Con frecuencia, en los textos de química el principio de parsimonia es violentado por las modas de la afectación y la solemnidad que diluyen lo relevante. Un buen ejemplo de esto lo da Alatorre: “lejos de ser exhaustiva la definición tentativamente propuesta, sólo nos muestra la dificultad de operacionalizar sus elementos”; bastaba decir: “la definición no es rigurosa” (Alatorre, 1989). A reparar esta situación no colaboran los medios masivos de información... ni los “best sellers” (sean o no académicos).

El vínculo parsimonioso entre lenguaje y conceptos ya había sido anotado por el mismo Lavoisier, quien señaló:

Pensamos sólo por medio de las palabras. Los lenguajes son verdaderos instrumentos analíticos [...] El arte de razonar no es nada más que un lenguaje bien dispuesto. [El lenguaje debe...] aligerar la memoria de los principiantes que retienen difícilmente una palabra nueva cuando está absolutamente vacía de significado... [conviene] acostumbrarlos a no admitir ninguna palabra que no vaya unida a una idea (Lavoisier, 1990).

#### 4.2 Análisis hermenéutico

Afirma G. Yule que uno de los problemas más interesantes y complejos para los estudiosos del lenguaje es cómo comprendemos lo que leemos y oímos a pesar de lo que leemos y oímos. ¿Cómo reconocemos un discurso coherente? ¿Por qué calificamos a otro de oscuro y confuso? ¿Cómo interpretamos lo que nos quieren comunicar? (Yule, 1998).

Entre los diversos factores que parcialmente responden las preguntas anteriores usaremos: enlaces de cohesión, indicadores modales, conectivos gramaticales y esquema. Yule propone que también intervienen: conocimientos previos, eventos del habla, interacción (turnos para hablar) y cooperación; sin embargo, no los consideraremos en este trabajo.

#### Enlaces de cohesión

Son los pronombres y las conexiones léxicas, también lo son las palabras con un referente común; por ejemplo: “Una vez mi padre compró un *Porsche convertible*. Lo consiguió *ahorrando* cada *centavo* que podía. *Ese* coche valdría una *fortuna* hoy día. Sin embargo, *lo* vendió para *pagar* mis estudios universitarios. A veces pienso, que habría preferido tener el *Porsche*.” Los enlaces de cohesión son: Porsche, lo, ese coche, ahorrar, centavos, fortuna, vender, pagar. También da cohesión el conector adversativo “sin embargo” que anticipa un desenlace distinto a lo expuesto; además, el tiempo pasado de los verbos contribuye a la cohesión.

A partir de los enlaces de cohesión puede detectarse cómo los autores estructuran los escritos, por lo que son cruciales para juzgar la calidad del texto. Es oportuno insistir que los enlaces de cohesión son diferentes en cada lengua y que originan grandes dificultades en la traducción de textos.

#### Indicadores modales

Son las palabras que delimitan la validez de los enunciados, por ejemplo: *siempre, nunca, en ocasiones, en este caso, eventualmente, en estas condiciones, de acuerdo con lo establecido*, etcétera.

Consideremos la diferencia entre los enunciados: “Tú *nunca* me haces caso”, “*A veces* no me haces caso”, “*Sólo en estas condiciones* me haces caso”. Todos hemos vivido las consecuencias de no usar el indicador modal apropiado...

#### Conectivos gramaticales

Evidencian las relaciones de consecuencia, causalidad, inferencia (por mencionar algunas), entre los enunciados; por ejemplo: *ya que, por lo tanto, puesto que, pues, en consecuencia, debido a, por lo anterior, como se verá, como se dijo, por consiguiente, luego entonces, luego, de aquí que, por lo dicho*, etcétera.

Consideremos los enunciados: “Llegó tarde. Compré las pizzas” y “Llegó tarde *porque* compré las pizzas”.

Es incuestionable la función constructiva de los indicadores modales y de los conectivos gramaticales en la didáctica; sin embargo, no son propuestos en el análisis hermenéutico de Yule.

#### Esquema

Es una estructura no formalizada, ni siquiera consciente, que resulta de las experiencias del sujeto e interviene en la interpretación de los enunciados;

por ejemplo: El *niño* lloraba. La *madre* lo tomó en brazos. El lector común interpreta “la madre” como “la madre del niño”, no como “la religiosa”, que el niño está lejos de ser púber pues “lo tomó en brazos” y que “lo tomó en brazos *porque* lloraba”. Si la lectora coincide con esta interpretación es que usó los mismos esquemas que los autores. Y si le sorprendió la palabra *lectora* es que no está en sus esquemas del género femenino.

Otero, J. propone que el conocimiento está organizado en paquetes aplicados a la comprensión y que los esquemas son estructuras que representan los vínculos entre conceptos genéricos almacenados en la memoria. Esta representación restringe los significados y el sentido de los enunciados y facilita la lectura a partir de bloques de significado (construidos a partir de algunos indicadores gramaticales o tipográficos, como pueden ser: palabras clave, letras mayúsculas, comillas, signos de puntuación, etcétera) (Otero, 1990). En breve, los esquemas dirigen el significado de las palabras y el sentido del texto leído.

La dificultad principal para el estudiante radica en la limitación de esquemas y en la novedad de los conceptos involucrados en la prosa científica. En otras palabras, enfrenta obstáculos para la interpretación y estructuración con los conocimientos previos. El alumno que haya aprendido que el equivalente químico de un ácido es igual a la masa molar entre el número de protones, no podrá determinar su equivalente químico en una reacción de neutralización parcial.

## 5. Método de análisis

El análisis propuesto implica tres niveles:

1. Textual
2. Lógico-conceptual
3. Metadiscursivo

El nivel 1, textual, incluye aspectos gramaticales tales como: sinonimia, léxico, sintaxis, usos verbales (*p.ej.* el gerundio, falta de concordancia verbal de tiempo) y aspectos matemáticos del tipo de dimensiones y orden de magnitud.

El nivel 2, lógico conceptual, se refiere a conceptos subyacentes, premisas ocultas, condiciones y limitaciones de la argumentación, uso de delimitadores (algunos, todos, siempre, a veces) etcétera.

El nivel 3, metadiscursivo, integra todos los elementos del texto: tipografía, uso de columna de apoyo, pantallas, tablas, ejercicios de ejemplo, contenidos,

etcétera; busca establecer desde qué universo conceptual se ha producido el texto y qué conocimientos previos supone en el lector para comprenderlo.

Los resultados de los niveles 1 y 2 los presentamos en el apartado 6, “Resultados”, y los del nivel 3 en el apartado 7, “Consideraciones didácticas”.

Bertha M. Gutiérrez afirma que el trabajo de interpretación es, en gran medida, un trabajo de traducción al propio lenguaje; con ese fin el lector debe hacer un análisis léxico-morfológico, otro morfo-sintáctico y otro pragmático (Gutiérrez, 1998).

Podrá inferirse que el análisis hermenéutico no es un proceso lineal, sino que conlleva continuas revisiones que modifican la interpretación de un enunciado e influyen en la de los enunciados subsecuentes. Lozano propone que “la interpretación del texto está sujeta no sólo a la *recuperación* de la información semántica del texto, sino también a la *introducción* de elementos de lectura [por parte] del sujeto” (Lozano, 1999).

El análisis hermenéutico se asemeja a la investigación psicológica, educativa y criminal, en tanto que no se limita a las pruebas directas, sean éstas: los enunciados, las marcas tipográficas, el comportamiento observable o los datos obtenidos por introspección, o por mediciones obtenidas en un experimento o examen. Como afirma Eco debe, además, tener en cuenta las pruebas indirectas y las pistas circunstanciales, muchas veces apenas perfiladas (Eco, 1989). ¿Cómo detectamos cuál es el sentido y la intención del texto? No es atendiendo a las normas gramaticales ni a las erratas de un texto (aunque las señalemos) sino a las relaciones entre texto, ordenamiento textual y contexto.

Es frecuente que los profesores no descubran estas relaciones pues sus esquemas de lectura cubren huecos, omiten ripios, corrigen deficiencias, seleccionan lo relevante, etcétera. El que los expertos ya sepan “qué va a decir el libro”, sesga la lectura. Sólo una lectura atenta (en nuestro caso, colectiva) permite descubrir las limitaciones y errores de los enunciados. Vale decir lo mismo acerca del texto y su sentido oculto. Esto incluye a los indicadores tipográficos (balas, sombreados, tablas, diagramas, palabras en negritas, cursivas, etcétera), al ordenamiento textual (títulos, subtítulos, listas, párrafos, columna de apoyo) y a las referencias cruzadas.

Para el análisis del texto elegido, dividimos cada párrafo en enunciados, cada uno de éstos numerado en forma consecutiva y delimitado por una mayúscula y el signo de punto. Cada ejercicio, su enun-

### 3.8 CANTIDADES DE REACTIVOS Y PRODUCTOS

<sup>1</sup>Una pregunta básica en un laboratorio de química es: “¿qué cantidad de producto se obtendrá a partir de cantidades específicas de las materias primas (reactivos)?”<sup>2</sup> bien, en algunos casos la pregunta se plantea de manera inversa: “¿qué cantidad de materia prima se debe utilizar para obtener una cantidad específica del producto?”<sup>3</sup> Para interpretar una reacción en forma cuantitativa, es necesario aplicar el conocimiento de las masas molares así como el concepto de mol.<sup>4</sup> La *estequiometría* es el estudio cuantitativo de reactivos y productos en una reacción química.

Figura 1.

ciado y resolución tiene un contador propio. En casos particulares contrastamos con la edición original en inglés. Sobra decir que la importancia del tema “Estequiometría”, así como los conceptos fundamentales que implica, justifican haberlo elegido.

#### 6. Resultados

En este apartado presentamos algunos resultados del análisis hermenéutico aplicado a la sección 3.8 “Cantidades de reactivos y productos” del capítulo “Relaciones en masa en las reacciones químicas” de Química, según lo dicho en el apartado 4.2. Por limitaciones de espacio no publicamos el material completo (disponible con los autores).

Los enunciados 1 y 2 (figura 1) tienen enlaces de cohesión; sin embargo, 3 y 4 están aislados entre sí y con los anteriores. ¿Cómo puede saber el estudiante que 3 y 4 responden a esas preguntas? Muy distinto si se hubiera explicitado: “A fin de responder estas preguntas usaremos las masas molares”. Nótese la diferencia entre “es necesario aplicar el conocimiento de” y la versión que proponemos. En efecto, hasta mediados del siglo XIX las preguntas 1 y 2 se respondían por vía empírica o por equivalentes químicos, o por tablas de afinidad, etcétera. El enunciado 3 carece de indicador modal (*p.ej.* “hoy día”, “en este libro”, etcétera) lo cual oculta el carácter empírico del conocimiento de las reacciones y fórmulas

químicas y los cálculos relativos a la composición porcentual. Es notorio el uso de pantallas para resaltar “el método”, lo que no es el caso para: conceptos, limitaciones del modelo, errores frecuentes, preguntas conceptuales, datos históricos, etcétera. Como en todas las definiciones, en este enunciado, usa negritas y cursivas.

Falta enlazar el método, enunciado 9 (figura 2), con las preguntas 1 y 2 del texto de la figura 1. En 9.1 supone que el alumno ya tiene la información acerca de reactivos y productos (no indica que sólo puede obtenerse por vía experimental o por reglas inferidas de principios teóricos). En 9.2 no determina cuáles son las sustancias cuyas cantidades (¿gramos?) debe convertir a moles. Para 9.3 requiere lo calculado en el paso 9.2... pero no lo aclara; falta una referencia al tema “Balanceo de ecuaciones” (Sección 3.7) del mismo texto. Hay muchos rípios, por ejemplo, en lugar de “Calcular el número de moles de las cantidades buscadas o desconocidas (generalmente los productos)” bastaba: “calcular los números de moles buscados”. En 9.3 usa un indicador modal “*generalmente* los productos” inconsistente con sus ejemplos y ejercicios los cuales tienen *siempre* como incógnita las moles de productos. Habría convenido el indicador modal *frecuentemente* y añadir ejemplos y ejercicios con cálculos de reactivos.

En 9.4 hay mal uso del gerundio; éste indica simultaneidad de acciones. En este enunciado se trata de consecuencia o efecto, por lo que debió decir: “A partir del número de moles calculado, convierte a gramos...”. Observar que “convertir” se usa en dos sentidos: conversión química y conversión de unidades. En rigor, 9.2 no “convierte las cantidades dadas en moles” pues son magnitudes distintas. En 9.5 no

**9** El método del mol consiste en los siguientes pasos:

1. Escribanse las fórmulas correctas para todos los reactivos y productos y balancéese la ecuación resultante.
2. Conviértanse las cantidades de algunas o de todas las sustancias dadas o conocidas (*generalmente* los reactivos) en moles.
3. Utilícense los coeficientes de la ecuación balanceada para calcular el número de moles de las cantidades buscadas o desconocidas (*generalmente* los productos) en el problema.
4. Utilizando los números calculados de moles y las masas molares, conviértanse las cantidades desconocidas en las unidades que se requieran (*generalmente* en gramos).
5. Verifíquese que la respuesta sea razonable en términos físicos.

Figura 2.

indica el procedimiento para verificar la respuesta y omite qué significa “razonable en términos físicos”.

El enunciado 10 (figura 3) violenta el principio de parsimonia (por redundancia) pues todo requisito es “previo”, basta poner “requisito”. Por otro lado, si es “previo” no forma parte del método; más que un “requisito” es “parte del procedimiento”. El enunciado 11 intenta explicar el 10, pero carece de conectivos gramaticales; además, la puntuación lo separa del anterior. El enunciado 11, más el paso 1 del método lleva a pensar, equivocadamente, que “identidad” de una sustancia es lo mismo que su “fórmula química”; no hay ninguna advertencia acerca de los isómeros que, con igual fórmula condensada, tienen diferente identidad. Omite que la conservación de la materia supone sistemas cerrados.

El enunciado 12 remite al paso 2: “Conviértanse las cantidades de algunas o de todas las sustancias dadas o conocidas (generalmente los reactivos) en moles”. El enunciado 12 presenta al paso 2 como “condición necesaria” para “convertir los gramos [...] en número de moles”. ¡Pero el paso 2 no es “condición *para convertir!*”, es la acción de “convertir [unidades]”. Por otro lado, ¿cómo puede elegir el alumno entre las dos posibilidades “Conviértanse las cantidades *de algunas o de todas*”? Afirma que “es el paso crítico” pero no justifica por qué ni remite a otra parte del texto para buscar la explicación.

El enunciado 13 contiene la explicación del 12, pero no están enlazados. Habría quedado mejor dentro del 12: “El paso 2 es crítico pues permite analizar la reacción en términos de moles, esto es, en términos de número de partículas (como señala la ecuación química)”. Notar que sobran las palabras “real” y “sólo” porque el autor no hace otro tipo de análisis y porque las reacciones son interpretables en términos de equivalentes o de masas.

El enunciado 14 es innecesario: si el paso 3 *no puede iniciarse* sin el balanceo (como dice en 10) tampoco se *puede completar*.

El enunciado 15 presenta una nueva y más poderosa interpretación de la ecuación química. El concepto “relación de mol” está desarrollado en el apartado 3.7 (balanceo de ecuaciones) donde también da por conocido que “relación” es, en este caso, “proporcionalidad directa”.

En la figura 3.7 del texto de Chang

10 El paso 1 es un requisito previo para cualquier cálculo estequiométrico. 11 Se debe conocer la identidad de los reactivos y productos, y sus relaciones de masa no deben violar la ley de la conservación de la masa (es decir, se debe tener una ecuación balanceada). 12 El paso 2 es el paso crítico para convertir los gramos (u otras unidades) de las sustancias en número de moles. 13 Esta conversión permite analizar la reacción real sólo en términos de moles. 14 Para completar el paso 3 es necesario balancear la ecuación, lo que ya se hizo en el paso 1. 15 El punto clave aquí es que en una ecuación balanceada los coeficientes indican la relación en la cual los moles de una sustancia reaccionan o forman moles de otra sustancia. 16

Figura 3.

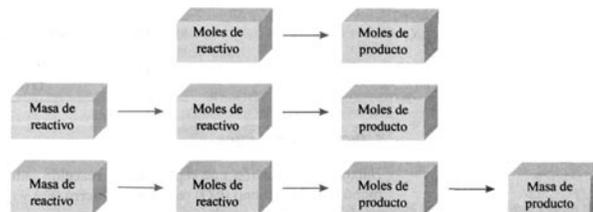
(figura 4 de este artículo) los bloques no añaden información sustancial; los primeros dos “tipos de cálculos” están incluidos en el tercero, las flechas son ambiguas pues no indican “conversión química” sino “cálculo”, habría sido más claro con flechas de doble cabeza. Es exagerado llamar “tipo de cálculo” a procedimientos que se distinguen por las unidades y magnitudes de datos y resultados. La primera línea de bloques puede involucrar casos tan diversos y complejos (*p. ej.* reactivo en exceso, alimentación estequiométrica, cálculo de cantidades de productos a reactivos y viceversa, etcétera) que hace inútil, si no gravosa, la clasificación propuesta. En breve, la figura 3.7 del texto analizado es inútil.

En el enunciado 20 (figura 5) falta delimitar: “*En este libro usaremos*” pues no es generalizado el uso del signo “ $\sim$ ”; no relaciona “estequiométricamente equivalente” ni “equivalente” con “proporción entre las sustancias involucradas en la reacción”.

En 22 (figura 6) transforma una equivalencia en igualdad sin usar un factor de proporcionalidad. En 23 toma como sinónimos “producir” y “ser equivalente”.

En 24 (figura 7) llama “método de los cinco pasos” lo que antes nombró “método del mol”. La foto de la columna de apoyo no refuerza a ninguno de los conceptos tratados, es innecesaria. Notar, una vez más, el uso de pantallas (recuadros de color) para los ejemplos y las instrucciones, *p. ej.* el “método del mol”. Para limitaciones, alcances y supuestos del modelo no hay alusión alguna.

FIGURA 3.7 Tres tipos de cálculos estequiométricos basados en el método del mol.



**20** En estequiometría se utiliza el símbolo  $\approx$ , que significa “estequiométricamente equivalente” o sólo “equivalente a”. En la ecuación balanceada para la formación de dióxido de carbono, 2 moles de CO reaccionan con 1 mol de O<sub>2</sub>, de modo que 2 moles de CO son equivalentes a 1 mol de O<sub>2</sub>:



Figura 5.

**22** En función del método del factor unitario, se puede escribir como

$$\frac{2 \text{ mol CO}}{1 \text{ mol O}_2} = 1 \quad \text{o} \quad \frac{1 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol CO}} = 1$$

**23** De la misma manera, debido a que 2 moles de CO (o 1 mol de O<sub>2</sub>) producen 2 moles de CO<sub>2</sub>, se puede decir que 2 moles de CO (o 1 mol de O<sub>2</sub>) son equivalentes a 2 moles de CO<sub>2</sub>:

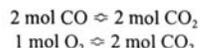


Figura 6.

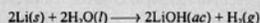
**24** Los siguientes ejemplos muestran el uso del método de los cinco pasos para la resolución de algunos problemas estequiométricos comunes.



El litio, al reaccionar con el agua, produce hidrógeno gaseoso.

**EJEMPLO 3.13**

Todos los metales alcalinos reaccionan con agua para producir hidrógeno gaseoso y el hidróxido del metal alcalino correspondiente. Una reacción común es la que ocurre entre el litio y el agua:



a) ¿Cuántos moles de H<sub>2</sub> se formarán al completarse la reacción de 6.23 moles de Li en agua? b) ¿Cuántos gramos de H<sub>2</sub> se formarán al completarse la reacción de 80.57 g de Li en agua?

**Respuesta a)**

**Paso 1:** La ecuación balanceada la proporciona el problema.

**Paso 2:** No se necesita hacer ninguna conversión porque la cantidad de la materia prima, Li, está dada en moles.

**Paso 3:** Debido a que 2 moles de Li producen 1 mol de H<sub>2</sub>, o 2 mol Li  $\approx$  1 mol H<sub>2</sub>, los moles de hidrógeno producido se calculan como sigue:

$$\begin{aligned} \text{moles de H}_2 \text{ producido} &= 6.23 \text{ mol Li} \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2 \text{ mol Li}} \\ &= 3.12 \text{ mol H}_2 \end{aligned}$$

**Paso 4:** Este paso no se requiere.

**Paso 5:** Se empieza con 6.23 moles de Li y se producen 3.12 moles de H<sub>2</sub>. Debido a que 2 moles de Li producen 1 mol de H<sub>2</sub>, 3.12 moles es una cantidad razonable.

Figura 7.

**3.9 REACTIVO LIMITANTE**

**26** Cuando un químico efectúa una reacción, generalmente los reactivos no están en *cantidades estequiométricas* exactas, es decir, en las *proporciones que indica la ecuación balanceada*. En consecuencia, algunos reactivos se consumen, mientras que parte de otros se recupera al finalizar la reacción. *El reactivo que se consume primero en una reacción recibe el nombre de reactivo limitante* ya que la máxima cantidad de producto que se forma depende de la cantidad de este reactivo que había originalmente (figura 3.8). Cuando este reactivo se consume no se puede formar más producto. *Los reactivos en exceso son los reactivos presentes en mayor cantidad que la necesaria para reaccionar con la cantidad del reactivo limitante.*

Figura 8.

En 26 (figura 8) sobra el indicador modal “Cuando un químico...”; no son sinónimos “generalmente” y “frecuentemente”; sobra “exactas”; emplea “cantidad estequiométrica” como sinónimo de “proporción”. En 6 propuso: “los coeficientes estequiométricos [...] se pueden interpretar como el número de moles de cada sustancia”; sin embargo, es más poderoso interpretarlos en términos de *proporciones*, como insinúa en 26. El autor no analiza la diferencia entre “cantidad en moles” y “proporción en moles”; por tanto, pierde la posibilidad de representar la misma reacción química con diferentes coeficientes estequiométricos, de mostrar su carácter arbitrario y convencional, y que la información relevante en la ecuación química es la proporción molar. El enunciado 26 podría haber sido: “Al efectuar una reacción, frecuentemente, los reactivos no están en las proporciones estequiométricas indicadas por la ecuación balanceada. Puesto que se trata de proporciones una ecuación química puede representarse con conjuntos de coeficientes que mantengan la misma proporción”.

En 27 es incorrecto “se recupera al finalizar la reacción”, pues recuperar significa *recobrar, volver a adquirir lo que antes se poseía*; bastaba decir: algunos se consumen, otros no.

En 28 sobra “consume primero”, queda mejor “consume totalmente” o aún mejor “consume”. El indicador modal “primero” lleva a pensar que los demás reactivos se consumen “después”, lo que es imposible. El error se agrava por las cursivas tipográficas.

En 29 falta un enlace de cohesión; conviene hacerlo con tiempos verbales; por ejemplo, en lugar de “Cuando este reactivo se consume...”, escribir “Cuando este reactivo se ha consumido...”.

El enunciado 30 omite que la cantidad necesaria para reaccionar con la cantidad del reactivo limitante (Nota: aquí no debe entenderse “cantidad” como “proporción”) está determinada por la estequiometría y, además, de las cantidades iniciales de reactivos.

En el enunciado 64 (figura 9) falta un indicador modal pues “miles de millones” implica producción mundial o anual. La producción anual de ácido sulfúrico en Estados Unidos es del orden de 40 millones de tone-

ladas. Bastaba decir: “En los procesos industriales se obtienen grandes cantidades de producto de forma que un pequeño aumento en el rendimiento significa una gran reducción del costo de producción”. Conviene precisar que la versión en inglés dice “miles a millones de toneladas”.

**64** Generalmente, en los procesos industriales se obtienen grandes cantidades (miles de millones de toneladas) de productos. De esta manera, incluso un pequeño aumento en el rendimiento puede reducir de manera importante el costo de la producción. Un ejemplo lo constituye la fabricación de fertilizantes químicos, analizado en la sección La química en acción.

Figura 9.

## 7. Consideraciones didácticas

- En el texto hay patentes contradicciones entre lo que el autor propone *que se debe hacer* para resolver los problemas y lo *que hace*. Así, el enunciado: “No se incluirá el paso 5 [verifíquese que la respuesta sea razonable]... pero siempre se debe analizar si es razonable cualquier cálculo químico” tiene una contradicción evidente. El autor omite cualquier explicación acerca de la omisión de un paso que, páginas antes y en el mismo párrafo, declaró necesario.
- Hay abuso del tropo de traslación: no hay concordancia de tiempos, en ocasiones usa tiempo pasado, otras presente, *p. ej.* enunciado 29. Al no ubicar temporalmente las operaciones, “se determina con” puede significar “es calculado por”. Conviene una forma gramatical más precisa “se determinará con”. Ésta es una limitación más común en la versión española que en la original.
- Faltan referencias cruzadas hacia atrás y hacia adelante. Algunas están equivocadas, por ejemplo, en la columna de apoyo de la p. 92 dice “Problema semejante: 3.68” y debe decir “3.69”. Es oportuno señalar que la versión norteamericana tiene el mismo error, originado por la eliminación de algunos problemas de la 5a. edición.
- En los cálculos emplea supuestos de validez obvia para el maestro, pero no para el estudiante. Por ejemplo, en 44.11, calcula la cantidad de reactivo sin reaccionar mediante una resta cuyos términos no son explicitados (el lector debe inferir qué son esas cantidades para inferir la resta). Es justo señalar el manejo consistente del autor en las cifras significativas.
- Hay abundancia de términos innecesarios que añade dificultades a las propias del aprendizaje de la química. En efecto: equivalente estequiométrico, puede reemplazarse por proporción; “eficiencia” la nombra con los términos: rendimiento porcentual, porcentaje del rendimiento, relación del rendimiento real y rendimiento teórico.

- Al proponer el equivalente estequiométrico como un nuevo esquema de interpretación desaprovecha el ya existente en el alumno de *proporcionalidad directa* (porcentajes, regla de tres simple, funciones trigonométricas, semejanza de triángulos).
- Al transformar equivalente químico en una igualdad omite el factor de proporcionalidad y es poco riguroso con el lenguaje, instrumento fundamental del pensamiento.
- La columna de apoyo tiene información poco relevante para el manejo de los conceptos; son ejemplos y objetos “cotidianos”; omite información histórica o biográfica; hay pocas sugerencias de problemas afines y ninguna pregunta conceptual o del tipo ¿qué pasaría si...?
- Los recuadros (siempre sombreados) son problemas resueltos o ejercicios de igual estructura; enfatizan los algoritmos más que los conceptos (*p. ej.* no hay recuadros con definiciones o con errores frecuentes), omite información histórica o biográfica.
- Identifica “expresión matemática” con “ecuación matemática”.
- Los ejercicios propuestos son idénticos a los ejemplos resueltos.
- Afirma que los coeficientes estequiométricos se refieren a cantidades pero siempre los trabaja como proporciones.
- El método del mol propuesto intenta dar al estudiante “el procedimiento general para resolver todos los problemas de estequiometría”. No es didáctico simplificar a este extremo los cálculos estequiométricos, como tampoco lo es identificar la fórmula [química] con la identidad [química].

## 8. Consideraciones varias

Hay imperativos anacrónicos: *escribanse, conviértanse*, etcétera. Hay cambio de estilo en la traducción, es personal en el original, mientras que es impersonal en español.

Hay errores de traducción, *p. ej.* el enunciado 5, de la p. 98 dice “en una ecuación química”; en el

original dice correctamente “en una reacción química”; otro ejemplo: “el rendimiento porcentual [...] describe la *relación del rendimiento real y el rendimiento teórico*”; en el original dice: “rendimiento real respecto al rendimiento teórico”; otro enunciado dice, en español: “El intervalo del porcentaje del rendimiento puede fluctuar desde 1 hasta 100%”, en el original dice “desde una fracción de 1% hasta 100%”. La traducción de “yield” como “rendimiento” (en lugar de “producción”) lleva a expresiones como “porcentaje del rendimiento” y “rendimiento porcentual” y a inconsistencias; en efecto, el enunciado 65 debiera decir “un pequeño aumento en el porcentaje de rendimiento”.

En ocasiones no son adecuados los términos; *p. ej.* el enunciado 42 dice: “En cálculos estequiométricos en los que hay un reactivo limitante, el primer paso consiste en *decidir* cuál de los reactivos es el limitante”; resultaría más claro y preciso “identificar”.

La traducción usa circunloquios que no tiene la versión norteamericana; *p. ej.*, en el enunciado 24a “La ecuación balanceada la proporciona el problema”, bastaba decir “El enunciado presenta la ecuación balanceada”.

## 9. Conclusiones

El aprendizaje, ya lo hemos dicho, no se limita al aula; el lenguaje es el primer elemento para lograrlo. Puede llegar a ser elegante y breve por reflexión, así como vacío, ambiguo, afectado o solemne por imitación y pereza mental.

Puesto que no siempre la función del lenguaje es comunicar (muchas veces es simular, distraer, lagotear) debemos continuamente reflexionar si nos quieren decir efectivamente algo y si vale la pena tratar de entenderlo.

Al respecto, las reflexiones de Lavoisier, *op. cit.*, tienen una extraordinaria validez:

El medio único de evitar estos extravíos consiste en suprimir, o a lo menos simplificar cuanto sea posible el razonamiento que nos es propio reduciéndolo a operaciones tan sencillas y a juicios tan cortos que jamás pierdan de vista la evidencia que les sirve de norte.

Por su importancia, el tema “Cantidades de reactivos y productos” debe ser fundamentado con toda claridad y precisión; sin embargo, el texto analizado presenta enunciados oscuros, ambiguos y, en ocasiones, erróneos. Difícilmente puede servir para estudio personal o apoyo del aula. Como lo muestra el énfasis dado a los ejercicios resueltos y a los algorit-

mos (áreas sombreadas), está más dirigido al adiestramiento que a la comprensión y no resulta formativo. Su éxito en el mercado es atribuible más a modas editoriales y publicitarias que a razones didácticas.

Al parecer los textos se están adaptando a las demandas de los consumidores: si éstos quieren cursos *light* tales se les dan. Terminaremos con “obesos intelectuales”, si no es que con casos de anorexia y bulimia mental.

Una regla de la mercadotecnia es no incomodar al cliente. Pero ¿es aplicable a la enseñanza?, ¿es didáctico ocultar dificultades al estudiante? Nos quedó la impresión general de que el tema desarrollado intentaba evitar la noción de modelo y, en consecuencia, eludía explicitar sus limitaciones y supuestos. No es nuestra intención desalentar el uso de libros de texto, pero conviene señalar los errores y limitaciones de un texto para propiciar las habilidades críticas de los estudiantes

Para finalizar conviene mencionar a don Santiago Ramón y Cajal:

He aquí un recuerdo que no creemos inútil en España, país clásico de la hipérbole y de la dilución aparatosa. Mr. John Shaw Billings (1838-1913), médico y bibliotecario de Washington, aconsejaba: dar a la publicación título adecuado, tener algo nuevo que decir, decirlo y callarse (Ramón y Cajal, 1994).

De forma que aquí callamos. ▀

## 10. Bibliografía

- Alatorre, Antonio. *Los 1001 años de la lengua española*. Tezontle, FCE. México, 1989.
- Eco, Umberto y Th. Sebeok (eds.). *El signo de los tres*. Editorial Lumen. Barcelona, 1989.
- Gillespie, Ronald J. Reforming the General Chemistry Textbook. *Journal of Chemical Education*, 74 [5], 484-485. (1997).
- Gutiérrez R., Bertha M. *La ciencia empieza en la palabra*. Ediciones Península. Barcelona, 1998.
- Lavoisier, A. *Tratado Elemental de Química*. Edición Facsimilar, UAM-X, 1990.
- Lozano, Jorge; Peña-Marín, Cristina; Gonzalo Abril. *Análisis del discurso. Hacia una semiótica de la interacción textual*. Cátedra. Madrid, 1999.
- Otero, J. Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: el papel de los esquemas y el control de la propia comprensión. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 [1], 17-22, 1990.
- Ramón y Cajal, Santiago. *Los tónicos de la voluntad*. Colección Austral. Espasa-Calpe Mexicana, 1994.
- Santillana Ediciones. *Diccionario de las Ciencias de la Educación*. México, 1999.
- Vygotsky, Lev. *Pensamiento y lenguaje*. Ediciones Paidós. España, 1995.
- Yule, George. *El lenguaje*. Cambridge University Press. Sucursal en España, 1998.