

# Pragmática de los lenguajes químico y algebraico en el ámbito escolar

## Resumen

Este artículo reporta los resultados de una investigación sobre la coexistencia de los lenguajes químico y algebraico en alumnos del nivel preuniversitario. Partiendo de una confrontación entre ambos lenguajes surgida de la práctica docente en el área de química y de un estudio teórico en didáctica del álgebra, fue posible explicar errores tipo acaecidos durante el uso de estos lenguajes en el ámbito escolar.

**Abstract:** The present work reports the results of an investigation about the coexistence of algebraic and chemical languages in students at middle superior level. Starting from a confronting between both languages emerged during a teaching practice in Chemistry area and from a theoretical research in Didactics of Algebra, it was possible to elucidate type errors occurred when using these languages within a school scope.

## Introducción

El presente trabajo es producto de la práctica docente en el área de química. Se ha observado que independientemente de los diferentes niveles de estudio, llámese secundaria, preparatoria o los primeros años de universidad, existe un grave problema en el dominio de los símbolos o en el manejo de las operaciones que se emplean en esta rama del conocimiento. Algunos alumnos confunden las reglas establecidas en el álgebra con las reglas que se usan en química. Cuando un estudiante de nivel medio o superior, está tratando de resolver un problema de química, ¿sabe que está utilizando operaciones matemáticas? ¿Sabrá que tipo de ecuaciones matemáticas necesita? ¿Las conoce pero no las relaciona con tópicos de química? ¿Aprenderá y desarrollará mejor sus conceptos químicos, si domina algunos métodos matemáticos? Se ha observado en el aula que la

**Luis Orlando Castillo y Aurora Gallardo**

Departamento de Matemática Educativa

CINVESTAV

mayoría de los estudiantes no identifican los tipos de ecuaciones matemáticas que utilizan en química, aunque manejen las técnicas de solución.

Ahora bien, en los currícula de los programas educativos aparecen simultáneamente, entre otras, las materias, matemáticas y química. En particular, en química los estudiantes se enfrentan a un lenguaje simbólico con una sintaxis y una semántica propias. Nos encontramos entonces ante una situación de coexistencia e interacción de lenguajes, algebraico y químico, ambos en proceso de ser instalados. El estudiante se halla con dos lenguajes simbólicos que debe asimilar en corto tiempo según demandas de los sistemas educativos.

En este estudio sobre la confrontación de los lenguajes algebraico y químico con alumnos de nivel preuniversitario, se analizan las respuestas espontáneas de los estudiantes en situaciones didácticas, donde se pone de manifiesto el entrecruzamiento de los dos lenguajes. También se examinan las dificultades propias a cada lenguaje. El análisis realizado aprovecha la investigación existente en didáctica del álgebra (Castillo, L.O., 1992). Por otra parte, el presente artículo enfatiza el carácter pragmático de la interacción de dos lenguajes formales, el algebraico y el químico.

El uso moderno del término pragmática es atribuible al filósofo Charles Morris (1938), interesado en esbozar el perfil general de una ciencia de los signos, o semiótica. Dentro de la semiótica Morris distinguió tres ramas diferentes de investigación: la sintáctica (o sintaxis), que es el estudio de la relación formal de los signos entre sí; la semántica, el estudio de las relaciones de los signos con los objetos a los que dichos signos son aplicables (su designata) y la pragmática, el estudio de las relaciones de los signos con los intérpretes. Levison (1989) maneja en su libro un cierto número de posibilidades en un intento de definición de la pragmática". Algunas de estas definiciones son las siguientes:

- La pragmática es el estudio de aquellas relaciones entre el lenguaje y el contexto que están codificadas en la estructura de una lengua.
- La pragmática es el estudio de todos aquellos aspectos del significado que no son contemplados en una teoría semántica.
- La pragmática es el estudio de las relaciones entre el lenguaje y el contexto que son básicas para dar cuenta de la comprensión del lenguaje.
- La pragmática es el estudio de la capacidad de los usuarios del lenguaje para emparejar oraciones con los contextos en que éstas serían adecuadas.

En este artículo nos referimos a los usuarios de los lenguajes químico y algebraico resaltando las aportaciones que la pragmática de estos lenguajes ofrece a la didáctica tanto de la química, como la del álgebra.

## Los lenguajes químico y algebraico

Al leer un libro de física, de matemáticas o de química, advertimos que en la mayoría de los casos el autor utiliza una interacción de lenguajes en la que alternan las frases vernáculos con las fórmulas de un simbolismo específico. Pragmáticamente es claro que el lenguaje común desempeña en esta coexistencia el papel de vehículo indispensable. Por medio suyo se describen intuitivamente los experimentos, se indican las reglas de uso

---

del simbolismo y hasta se expone en forma más precisa una sintaxis lógica que permite encadenar segmentos del lenguaje formal. El proceso lingüístico de la ciencia se nos presenta con esencial ambigüedad, pues si la ciencia no es en ningún momento de su historia un discurso completamente formalizado, tampoco se confunde nunca con un discurso en lenguaje vernáculo. En tanto que pensamiento en ejercicio, la ciencia no puede presentarse sino como intento de formalización, comentado por la mediación de un lenguaje no formal (Gilles-Gaston Granger (1965)).

Examinando brevemente la historia del lenguaje de los químicos, se advierte que la primera huella de un simbolismo se encuentra en los manuscritos alquímicos de Venecia en los siglos X y XI.<sup>1</sup> Los signos utilizados son esencialmente sustantivos y el lenguaje se encuentra reducido a su función semántica. Surgen los símbolos de los siete metales, vinculados a los de los siete planetas: oro - sol (☉), plata-luna (☾), hierro-marte (♂), etc. Ya entre estos signos alquímicos se abren camino algunos rasgos originales que son rudimentos de una expresión científica. Así, por ejemplo, se introducen signos para ciertas operaciones y ciertos instrumentos de los alquimistas: uno designará el crisol (☼), otro la operación de pulverización, por ejemplo (☼). Además se esboza una sintaxis rudimentaria, con las reglas de formación de los signos compuestos. El símbolo del oro en pan (☉) se construye a partir del correspondiente al oro, de igual manera que el símbolo de la plata en pan (☾) se construye partiendo del de la plata.

La aparición de una simbología más rica en signos y los progresos de la misma en el lenguaje, indican el paso a una ciencia experimental en vías de consolidarse y a la formación de hipótesis teóricas válidas. Habrá que esperar a la edad de Lavoisier para que la elaboración lingüística alcance esa meta aunque en forma incipiente. En su *Mémoire sur la dissolutions des métaux dans les acides* (Mém. Acad. des sc., 1782, p. 492), Lavoisier utiliza explícitamente un simbolismo donde pueden reconocerse los primeros intentos del lenguaje químico moderno. Comienza eligiendo símbolos para el agua (∇), el "aire nitroso" (Δ†) el "principio oxígeno" (⊕) y adopta el antiguo signo de los alquimistas para el hierro (K).

Las fórmulas de Lavoisier son el esbozo de un lenguaje científico provisto de reglas sintácticas precisas que remiten a manipulaciones bien determinadas (ibis p. 524). Si a la idea de representación cuantitativa generada por Lavoisier se agrega una combinatoria de signos, se llega muy cerca del lenguaje químico moderno, intuido por Berzelio a principios del siglo XIX. En aquella época ya había tomado cuerpo la hipótesis atomista gracias a los trabajos de Dalton y de Avogadro. Esto permite a Berzelio romper definitivamente con el simbolismo mágico de los antiguos y designar a cada átomo de un cuerpo simple por la inicial de su nombre latino. Los compuestos se representarán entonces, por la combinación de varios símbolos simples y las masas atómicas de sus elementos darán información de la masa del compuesto. Sin embargo, Dalton, a pesar de sus influencias alquímicas, mostraba el aspecto estructural de los compuestos (indispensable para comprender el fenómeno de isometría) y el reacomodo de los átomos por la reacción química. Por último, cabe mencionar el papel de William Whewell (1831) en el desarrollo de la actual simbología química. Las bases matemáticas que poseía lo condujeron a comparar los símbolos de Berzelius con símbolos algebraicos y alteró los primeros para que se conformaran a las convenciones de los segundos. Así, propuso que los símbolos químicos

<sup>1</sup> Collection des anciens alchimistes grecs. Edición de Marcelin Berthelot, 1887.

se unieran entre sí invariablemente, mediante un signo de más y que se usarán paréntesis como en álgebra. El sistema de Whewell estaba lo suficientemente alejado de las necesidades de los químicos como para asegurar un rechazo general en aquella época (Crosland, 1988).

Los autores del presente artículo no han encontrado investigaciones propias de la didáctica de la química que exhiban la fuerza semántica de este lenguaje formal, donde la sintaxis no adquiere nunca la ambigüedad de los símbolos algebraicos. De hecho, los símbolos químicos, en particular los de las sustancias, no tienen la arbitrariedad de las literales algebraicas. Por otra parte, en química hay símbolos no unívocos, por ejemplo el signo “+” tiene diferentes sentidos en la ecuación  $\text{Fe} + \text{HNO}_3$  y en un supraíndice  $\text{H}^+$ .

En relación al lenguaje algebraico, mencionaremos solamente aquellos trabajos en didáctica del álgebra, que contribuyeron al presente estudio. Existen investigaciones como la de Freudenthal (1983) que se enfrentan con la problemática de convertir el álgebra simbólica, por medio de la enseñanza, en un lenguaje para ser aprendido y utilizado. Esto conlleva al estudio de las condiciones en que la práctica de este lenguaje sea posible, debido a que no se emplea con frecuencia en la vida cotidiana y la sintaxis algebraica no es adquirida en forma natural por el sujeto. Por otra parte, es necesario utilizar correctamente esta sintaxis ya que no existen márgenes de tolerancia con respecto a la precisión ortográfica y puntuación como sucede en la lengua vernácula, donde la fuerza del contexto permite en general, eliminar las ambigüedades que ocasione un error. Con respecto a trabajos que pretenden introducir la investigación experimental en la enseñanza, se encuentra el de Küchemann (1980) que realizó un estudio con más de 3000 estudiantes de 13 a 15 años de edad. El análisis de un cuestionario sobre álgebra elemental, le permitió identificar las diversas formas de interpretación de los símbolos literales por los estudiantes. Éstas se enlistan a continuación, ejemplificándolas con situaciones acaecidas en el presente estudio.

Letra evaluada: A la letra se le asigna un valor numérico. Esta interpretación de la literal se describen el apartado II. Confrontación de los lenguajes químico y algebraico, p.p. 17 y 19 de este artículo.

Letra no utilizada: La letra es ignorada o su existencia es reconocida pero no se le atribuye ningún significado. Ver apartado I. Predominio del Lenguaje Algebraico, p. 15 y en el apartado II. Confrontación de los Lenguajes químico y algebraico, p. 18 de este artículo.

Letra como objeto: Se considera la letra como una abreviación del nombre de un objeto o como un objeto en sí mismo. Por ejemplo, la letra O como símbolo del oxígeno es propia del lenguaje químico más no así, del lenguaje algebraico.

Letra como incógnita específica: La letra representa un número particular pero desconocido y los alumnos son capaces de operar directamente sobre ella. Esta interpretación surge al encontrar las cargas de dos elementos de un compuesto. Ver p. 12 de este estudio.

Letra como número generalizado: La letra representa o es capaz de asumir distintos valores. No hay ejemplos en este estudio.

Letra como variable: La letra representa un rango de valores no especificado y existe una relación sistemática entre dos conjuntos de valores de este tipo. No hay ejemplos en este estudio.

Booth (1984) retoma entre otros, los resultados del trabajo de Küchemann y se aboca a la investigación de las causas de los errores en álgebra a nivel secundaria. Su trabajo forma parte de un estudio más general, el proyecto CMSS: Conceptos en la Matemática

---

y en la Ciencia de la Secundaria, llevado a cabo en Inglaterra. Los propósitos del proyecto son:

1. Investigar las causas fundamentales que ocasionan la frecuencia y persistencia de errores a través de los años.
2. Explorar la efectividad de módulos breves de enseñanza diseñados para corregir o evitar estos errores.

Una de las conclusiones más relevantes de este trabajo es la afirmación de que la mayoría de las dificultades planteadas en álgebra, son en realidad dificultades del campo de la aritmética, ya que muchos niños (1) no consideran explícitamente los métodos aritméticos, (2) usan procedimientos que no están formalizados (3) interpretan las expresiones referidas a contextos particulares, sin advertir la necesidad del rigor en las proposiciones matemáticas (4) e inclusive cuando son conscientes de un procedimiento formal no siempre pueden simbolizarlo.

Por último, se menciona el trabajo de Matz (1982) que propone explicar la sorprendente uniformidad de los errores cometidos por los estudiantes al resolver problemas algebraicos en el nivel medio superior. El hecho de incurrir en los mismos errores conlleva a visualizarlos como resultados razonables, aunque desafortunados, al tratar de adaptar el conocimiento adquirido previamente a la solución de nuevas situaciones. Su investigación demuestra que cierta clase de errores frecuentes en el álgebra elemental son el resultado de una adaptación sistemática del conocimiento anterior que se ha generalizado o extrapolado en forma inadecuada. Esta perspectiva le permite clasificarlos en tres categorías, que nuevamente se acompañan con ejemplos del presente estudio.

- 1) Errores generados por la elección incorrecta de una técnica de extrapolación. Ver Predominio del Lenguaje Algebraico, p.p. 15 y 17 de este estudio.
- 2) Errores que reflejan un conocimiento básico correcto pero deficiente. Por ejemplo, en el apartado I, el estudiante expresa  $O^{2-} = \frac{1}{O^2}$ .
- 3) Errores que surgen durante la ejecución de un procedimiento. Ver apartado I, incisos 6 y 7, (errores en el balanceo de reacciones químicas).

Lo anterior conduce a una explicación unificada de los problemas tanto correctos como incorrectos, ya que el proceso de extrapolación y las técnicas que se derivan de éste, subyacen por igual en la producción de errores y en las respuestas correctas.

Tanto el trabajo de Küchemann, como el de Booth, al igual que el de Matz constituyen estudios a gran escala, lo cual en sí mismo puede considerarse como un elemento de validación para sus resultados.

## El estudio

El estudio reportado en este artículo contribuye a elucidar las causas de algunos tipos de errores surgidos en los temas de química inorgánica, debido al entrecruzamiento de los lenguajes algebraico y químico en los estudiantes de nivel preuniversitario. Después de haber realizado un análisis previo de contrastación entre ambos lenguajes, la metodología utilizada en la investigación consistió en la aplicación de un cuestionario a 35 estudiantes

y entrevistas clínicas individuales. A continuación se enlistan las diferencias detectadas en la contrastación previa.

Lenguaje químico	Lenguaje algebraico
1. Se usan letras para representar a los elementos y se les conoce.	Se usan letras para representar números que son desconocidos.
2. Un símbolo químico, representa a su vez propiedades químicas y físicas.	Una letra puede representar un número constante o variable, pero desconocido.
3. Los átomos de un elemento, pueden formar compuestos.	Los números primos forman números compuestos.
4. Los elementos, se combinan en proporciones definidas: $\text{Cl}_2\text{O}$ , $\text{Cl}_2\text{O}_3$ , $\text{Cl}_2\text{O}_5$ , $\text{Cl}_2\text{O}_7$ (Ley de las proporciones múltiples).	Números diferentes se relacionan entre sí, mediante operaciones aritméticas: $XY$ , $XY^2$ , $XY^3$ , $XY^4$ .
5. En un compuesto, las masas atómicas se están sumando: $\text{NaCl}$ : $23 + 35.5 = 58.5$	En una expresión los símbolos yuxtapuestos se están multiplicando: $XY^2 = X \cdot Y^2$ .
6. Los subíndices en un símbolo representan el número de átomos: $\text{Br}_2$ , $\text{O}_2$ .	El subíndice en un número representa a otro número: $X$ , $X_1$ , $X_2 \dots$
7. La valencia se representa por un índice superior en el símbolo: $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{N}^{3-}$ .	El índice superior de un número es un exponente: $X^3$ , $X^4$ , $1/X^4$ .
8. Un elemento se puede transformar en otro: $\text{S} \rightarrow \text{Au}$ .	Un número $X$ se puede transformar en $Y$ , mediante una función.
9. La oxidación se representa con signo "+" (pérdida) y, reducción con signo "-" (ganancia).	El concepto de ganancia se representa como positiva, el de pérdida como negativa.
10. En el equilibrio químico, hay transformación de sustancias, es temporal y las reacciones pueden ser irreversibles.	En el equilibrio algebraico (ecuaciones) es estático, reversible.
11. Un número antes de una fórmula multiplica a la suma de las masas: $3 \text{HCl} (M_H + M_{Cl})$	Un número antes de una expresión multiplica al producto de los componentes: $2XY = 2 \cdot X \cdot Y$
12. El curso de una reacción química se denota con flechas. Una flecha a la izquierda $\leftarrow$ o una flecha a la derecha $\rightarrow$ representan la igualdad de las masas y las energías, entre los reactivos y los productos.	El signo (=) es la representación de identidad en los números. El signo ( $\approx$ ) representa equivalencia de expresiones algebraicas.
13. La carga afecta al símbolo, un coeficiente numeral da el número de veces de la carga. $\text{N}_2 \rightarrow \text{(se oxida)} 2\text{N}^{3+}$ y se pierden $2 \times 3$ electrones.	El exponente sólo afecta a la base y un coeficiente no afecta al exponente: $2x^3 \neq 6x$
14. Ley de la Conservación de la Materia: En $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ el número cinco del agua, no se puede cambiar de posición en la fórmula.	Es indiferente: En $X \cdot Y \cdot 5Z = 5 \cdot X \cdot Y \cdot Z$ , no importa la posición del número cinco.

\* Nos referimos al caso de la igualdad de energías de Gibbs.

Esta confrontación a priori permitió diseñar un cuestionario, base del protocolo de las entrevistas realizadas a 16 estudiantes.

El contenido temático del cuestionario consta esencialmente de lo siguiente:

- Formación de compuestos a partir de iones.
- Significado de las letras y números que conforman el símbolo de un compuesto.
- Aplicación de la Ley de las Proporciones Múltiples y de la Ley de la Conservación de la Materia.

- Cálculo de la carga de los elementos que aparecen en un compuesto dado.
- Balanceo de ecuaciones químicas.

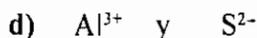
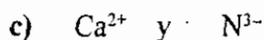
A continuación se presenta el cuestionario aplicado a la población estudiantil y el análisis de los ítems que lo componen.

## CUESTIONARIO

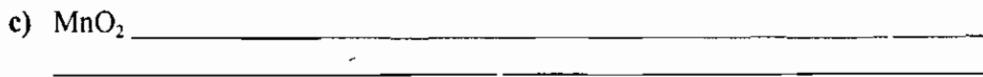
FECHA: \_\_\_\_\_

NOMBRE: \_\_\_\_\_

1. Para cada par de iones (positivo y negativo) que se da, escribir el compuesto que se forma. Es necesario anotar todo el procedimiento que se va a utilizar.



2. Explicar qué entiende, cuando aparece un subíndice en un símbolo de un elemento o en un compuesto. Como en los casos que se dan:



3. ¿Es posible, que un mismo elemento aparezca en diferentes cantidades al combinarse con otros para formar compuestos? Dar ejemplos.

4. Identificar a los elementos que se oxidan o reducen, al pasar del lado izquierdo al derecho en cada reacción química, e indicar la cantidad de electrones ( $e^-$ ) que se pierden o se ganan:



**NOTA:** Un átomo que pierde electrones, se oxida y un átomo que gana electrones, se reduce. Ver la figura.

oxidación

----->

... -3 -2 -1 0 1 2 3 4 ...

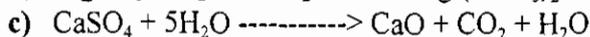
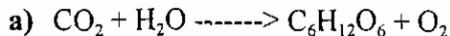
<-----

reducción

5. Hallar la carga de todos los elementos, que aparecen en los compuestos dados. Usar para el cálculo de la carga (valencia), una ecuación algebraica que la justifique.

a)  $\text{HNO}_3$     b)  $\text{H}_2\text{SO}_4$     c)  $\text{Fe}_2\text{S}_3$     d)  $\text{MnO}_2$

6. Balancear las siguientes reacciones químicas, y comprobar todo número que se anote en cada compuesto.



7. Dada la ecuación química, balancearla y después, hallar la masa total de cada compuesto. Comprobar que la masa total de todos los reactivos, es igual a la masa de todos los productos.



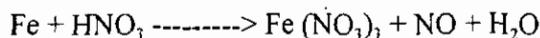
NOTA    Masa de Ca = 40.08

          Masa de H = 1.008

          Masa de S = 32.06

          Masa de O = 16

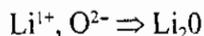
8. Balancear por Oxido-Reducción:



### Análisis de los ítems del cuestionario

#### Ítem No. 1

Se busca formar compuestos a partir de sus iones. Se proporcionan éstos al alumno, para evitar el posible olvido de las cargas de los elementos. Una manera de formar el compuesto, es aplicando la "regla de cruz", que consiste en cruzar los números absolutos de la valencia (carga) entre los elementos presentes. Por ejemplo:



El alumno debe diferenciar entre la carga que tiene un ion y los exponentes que se usan en las variables de una ecuación algebraica. En el lenguaje químico, se usan letras y en la parte superior de las mismas, se coloca un número seguido de un signo positivo o negativo. Se obtiene así, la representación de un ion. Por otra parte, en el lenguaje

algebraico, la literal es una variable con su grado y el signo representa su posición (es decir, si es un numerador o un denominador) en la expresión dada. Ejemplo:  $x^{-2} = \frac{1}{x^2}$

### Ítem No. 2

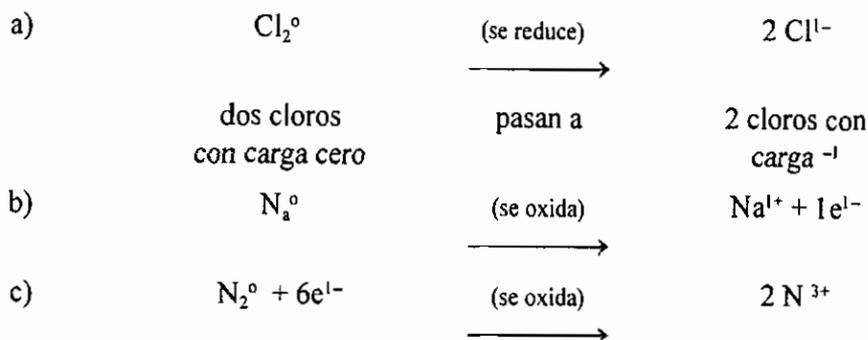
Se pretende que el alumno interprete el número que aparece como subíndice cuando está acompañando al símbolo. Así por ejemplo,  $\text{Br}_2$  representa a una molécula de Bromo. Ésta contiene dos átomos. En otras palabras, el número que aparece como subíndice, indica la cantidad de átomos que hay en cada molécula. Operacionalmente, se encuentra implícita una multiplicación entre el subíndice y la masa del átomo del elemento,  $\text{Br}_2$  representa dos veces la masa del átomo de Bromo.

### Ítem No. 3

Es posible que un mismo elemento químico aparezca en combinación con otros elementos diferentes en la misma proporción, por ejemplo:  $\text{SO}_2$  y  $\text{CO}_2$ . Esto se debe a que los elementos S y C, tienen la misma carga eléctrica:  $2^+$ . También es común encontrar que un mismo elemento tenga varias cargas eléctricas (valencias):  $\text{Cl}^{1+}$ ,  $\text{Cl}^{3+}$ ,  $\text{Cl}^{4+}$  y  $\text{Cl}^{5+}$ .

### Ítem No. 4

Se debe identificar a los elementos que cambian de carga (valencia), desde el estado inicial al estado final en una reacción química. Ejemplos:



Se proporciona al alumno la valencia de cada elemento para que identifique una oxidación y una reducción, así como el número de electrones ( $\text{e}^{1-}$ ) que se pierden o se ganan. Además, se observa la interpretación dada a los números que aparecen como exponentes (no son potencias).

### Ítem No. 5

El alumno debe encontrar las cargas de los elementos de un compuesto. Tiene que plantear entonces, una ecuación de primer grado con una variable, para hallar la carga de uno de los elementos, cuando conoce la carga de los elementos restantes del compuesto dado. Cabe señalar que hay cargas familiares al estudiante como la del hidrógeno ( $1^+$ ) y la del oxígeno ( $2^-$ ). Para los metales alcalinos (grupo IA) y alcalino-térreos (grupo IIA) se conocen sus valencias. El problema empieza con los elementos de transición ya que la gran mayoría de ellos, presentan varias cargas (ver Tabla Periódica de los Elementos Químicos).

Por ejemplo, si se requieren encontrar las cargas de los elementos del compuesto  $\text{HNO}_2$ , se asignará con  $x$  la carga desconocida, en este caso la del nitrógeno:

$1^+$	$x$	$2^-$
H	N	$\text{O}_2$
carga	?	carga
positiva		negativa

Se plantea entonces la ecuación:

$$1 + x - 4 = 0 \text{ (Tiene carga total cero)}$$

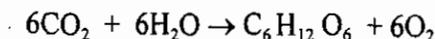
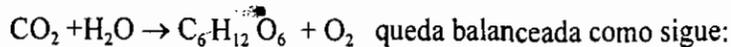
Se obtiene que  $x = 3$ , es decir el Nitrógeno trabaja con carga +3.

### Ítem No. 6

En el lenguaje químico, una ecuación representa una igualdad aritmética (con números fijos), a diferencia de una ecuación algebraica que representa una igualdad condicionada (incógnita).

El balanceo de una ecuación química se puede lograr por el Método de Tanteo. El alumno debe aplicar la Ley de la Conservación de la Materia (Cantidades iguales en cada lado de la reacción química).

Por ejemplo:



### **Comprobación**

$$6\text{C} \rightarrow 6\text{C}$$

$$12\text{H} \rightarrow 12\text{H}$$

$$18\text{O} \rightarrow 18\text{O}$$

El alumno debe utilizar los subíndices que aparecen en el símbolo de un elemento, a fin de realizar el producto del subíndice por el coeficiente elegido para lograr el balanceo, es decir:

$$6\text{CO}_2 - 6 \times 1 \text{ para el carbono}$$

$$6 \times 2 \text{ para el oxígeno}$$

### Ítem No. 7

En este ítem también se requiere el balanceo de una ecuación química, aunque aquí importa conocer el procedimiento utilizado por el alumno para encontrar las masas de cada compuesto.

En un compuesto dado, sus elementos están representados por símbolos que aparecen juntos en una fórmula. No se están multiplicando, sino sumando y los subíndices indican el número de veces que hay que multiplicar por la masa del elemento.

**Ejemplo:**



Masa de los elementos presentes:

$$M_{\text{Ca}} = 40.008/\text{mol}$$

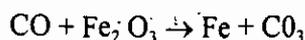
$$M_{\text{H}} = 1.008/\text{mol}$$

Masa del compuesto:

$$\text{Ca H}_2 : 40.008 + 2 (1.008) = 40.008 + 2.016 = 42.096$$

Ítem No. 8

La técnica de Oxido-Reducción, consiste en identificar los elementos que cambian sus valencias en los reactivos y en los productos de una reacción. Una vez localizados, se forman con estos elementos, un sistema de dos ecuaciones simultáneas, a fin de igualar el número de electrones que se pierden y que se ganan en el proceso. Ejemplo:



**Reactivos:**

En el CO, la carga neta del compuesto es cero. La carga del oxígeno es  $2^-$ , por lo tanto, la del carbono es  $2^+$ .

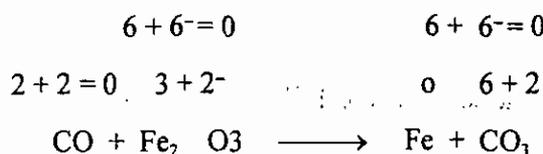
En el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , la carga neta del compuesto es cero. La carga total de tres oxígenos es  $6^-$ . Por consiguiente a Fe le corresponde  $3^+$ .

**Productos:**

En el Fe, la carga es cero.

En el  $\text{CO}_3$ , la carga neta del compuesto es cero. La de tres oxígenos es  $6^-$  que se neutraliza con  $6^+$ . Entonces el carbono tiene carga  $6^+$ .

Las cargas de cada elemento en la reacción son como sigue:

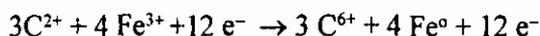


Formación del sistema de ecuaciones:

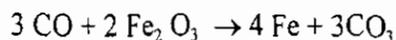
Para igualar el número de electrones, se multiplica 1) por 3 y 2) por 4. Se obtiene:

1.  $3\text{C}^{2+} \rightarrow 3\text{C}^{6+} + 12\text{e}^-$
2.  $4\text{Fe}^{3+} + 12\text{e}^- \rightarrow 4\text{Fe}^0$

Sumando 1 y 2 se llega a:



Se ha terminado el balanceo por Oxido-Reducción. Sólo resta colocar los coeficientes numerales en la reacción original. (Si no se logra el balanceo total, se usa también el método de tanteo). La reacción balanceada es la siguiente:



### **Análisis de las entrevistas del estudio**

Las respuestas dadas por los estudiantes a los ejercicios planteados en el cuestionario y retomados en la entrevista clínica, mostraron el uso correcto e incorrecto de los lenguajes químico y algebraico. Se observaron las manifestaciones siguientes:

#### **I. Predominio del lenguaje algebraico.**

#### **II. Confrontación de los lenguajes químico y algebraico.**

##### **Invencción de reglas.**

A continuación se ejemplifican estas manifestaciones por medio de diálogos tomados de las entrevistas del Estudio. En primer término aparece la pregunta planteada al estudiante. Enseguida se escribe la respuesta correcta a fin de compararla con el resultado incorrecto dado por el alumno. Por último se exponen las razones que conducen al error.

#### **I. Predominio del lenguaje algebraico.**

1. Encontrar las cargas de los elementos que forman el compuesto  $\text{HNO}_3$  (ítem No. 5).

Respuesta correcta:  $\text{H}^{1+} \text{N}^{5+} \text{O}_3^{2-}$

Respuesta del alumno:  $\text{H}^{1+} \text{N}^{3-} \text{O}_3^{2-}$

Encontró la carga del Nitrógeno ajustando las cargas de los iones  $+1 - 3 = -2$ , ignorando la operación de subíndices y valencias propias del lenguaje químico. Uso de las letras y los números en forma independiente. En el álgebra los estudiantes cometen errores del tipo:  $3a + 7b = 10ab$ , afirmando que "suman los números y luego agregan las letras". Booth (1984).

2. Escribir el compuesto que se forma con  $\text{Na}^{1+}$  y  $\text{O}^{2-}$  (ítem No. 1).

Respuesta correcta:  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Respuesta del alumno:  $\text{Na}_2\text{O}$ .

No comete error al responder el ejercicio. Sin embargo, cuando se le pregunta por la diferencia que hay entre  $\text{O}^{2-}$  y  $x^{-2}$ , contesta: "Ninguna, nada más indica el número de potencia". Escribe a continuación:  $\text{O}^{2-} = \frac{1}{\text{O}^2}$ . Un ion no se puede representar como un recíproco. Predomina el lenguaje algebraico.

3. Escribir el compuesto que se forma con  $\text{Li}^{1+}$   $\text{O}^{2-}$  (ítem No. 1).

Respuesta correcta:  $\text{Li}_2\text{O}$ .

Respuesta del alumno:  $\text{Li}^{1+} \text{O}^{2-} = \text{LiO}^{1-}$

Suma las cargas. Extrapolación de la regla  $a^n \cdot a^m = a^{n+m}$  Matz (1982). Predominio del lenguaje algebraico.

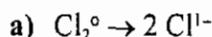
4. ¿Qué representa el subíndice en  $\text{Br}_2$ ? (ítem No. 2).

Respuesta correcta: Indica la cantidad de átomos en cada molécula del elemento químico.

Respuesta del alumno:  $\text{Br}_2 = 2\text{Br}$ .

Confusión entre subíndice y coeficiente. No interviene la semántica del lenguaje químico. Predomina el lenguaje algebraico.

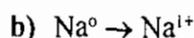
5. Identificar para los elementos dados, si se oxidan o reducen al pasar del lado izquierdo al derecho de una reacción. Dar el número de electrones que se pierden o se ganan (ítem No. 4).



Respuesta correcta. Reducción, se ganan dos electrones.

Respuesta del alumno. Se pierde un electrón.

Se concentra en el número 1-. No realiza la operación: 2 (1-). En álgebra los exponentes no se multiplican por los coeficientes. Predomina el lenguaje algebraico.

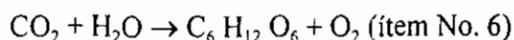


Respuesta correcta. Oxidación, se pierde un electrón.

Respuesta del alumno: Se oxida, gana un electrón.

Relaciona "ganar" con el signo "+" como ocurre en los lenguajes aritmético y algebraico.

6. Balancear la reacción química:



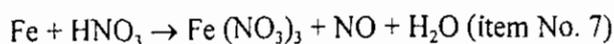
Respuesta correcta.  $6 \text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

Respuesta del alumno.  $3\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 3\text{O}_2$

Introduce un paréntesis como signo de agrupación. De esta manera logra 6 carbonos en el compuesto  $\text{CO}_2$ :  $(3\text{CO})_2$ .

Predomina la sintaxis algebraica.

7. Balancear la reacción química:



Respuesta correcta.  $\text{Fe} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$

Respuesta del alumno.  $\text{Fe} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$

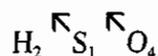
Los subíndices no intervienen en las operaciones. Cumplen la función de etiqueta.  
 4H lo identifica como 4 H<sub>2</sub>O (sólo ve al hidrógeno)  
 4NO<sub>3</sub> lo identifica como 1(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> + 3(NO)

## II. Confrontación de los lenguajes químico y algebraico. Invención de reglas.

1. Encontrar las cargas de los elementos que forman el compuesto H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ítem No. 5).

Respuesta correcta: H<sub>2</sub><sup>1+</sup> S<sup>6+</sup> O<sub>3</sub><sup>2-</sup>.  
 Respuesta del alumno: H<sup>1+</sup> S<sup>4+</sup> O<sup>2-</sup>

Extrapolando la regla de cruz para la obtención del número de átomos de los elementos de un compuesto:



Este tipo de mecanismo son descritos por Matz (1982) en relación al lenguaje algebraico.

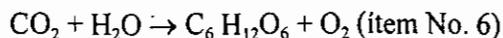
2. Encontrar las cargas de los elementos del Cl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Respuesta correcta: Cl<sup>3+</sup> O<sup>2-</sup> (Regla de Cruz)  
 Respuesta del alumno: Cl<sup>2-</sup> O<sup>5+</sup>

La carga del oxígeno la obtiene sumando los subíndices del Cl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Invención de una regla. Matz (1982) alude a este hecho en el terreno algebraico.

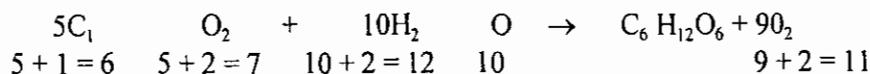
La carga del cloruro la encuentra tomando como base que cada Cl tiene carga 1-. Como hay dos cloruros es 2-. Tiene la idea de valencia como número fijo (Küchemann, 1980).

3. Balancear la reacción química.



Respuesta correcta:  $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$   
 Respuesta del alumno:  $5\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 9\text{O}_2$

Hace uso de una regla aditiva. Invención de reglas, Matz (1982).



6 carbonos, 12 hidrógenos y 17 oxígenos.

4. Escribir el compuesto que se forma con Al<sup>3+</sup> y S<sup>2-</sup> (ítem No. 1).

Respuesta correcta: Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Sulfuro de Aluminio.  
 Respuesta del alumno: 2 S Al.

Escribe la posición de los elementos en el compuesto de acuerdo a la manera en que se nombran, Predominio del lenguaje vernáculo, Freudenthal (1983).

Por otra parte, suma los exponentes  $-2 + 3 = 1$ . Por lo tanto Al es 1 y S es 2. De aquí, obtiene 2S Al. Confusión de subíndice con exponente.

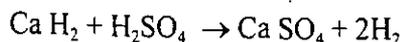
5. Encontrar las cargas de H, O y N en el  $\text{HNO}_3$  (ítem No. 5).

Respuesta correcta:  $\text{H}^{1+} \text{N}^{5+} \text{O}_3^{2-}$

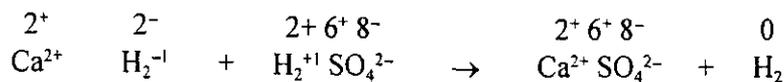
Respuesta del alumno:  $\text{H}^{1+} + \text{O}_3^{2-} + \text{N}^x = \text{O}$ ;

$\text{N}^x = \text{H}^{1+} - \text{O}_3^{2-}$ ; entonces  $x = 5$ . El alumno afirma: "Tuve que ignorar que se trataba de elementos distintos para poder realizar la suma de exponentes". Letra ignorada, Küchemann (1980).

6. Encontrar las cargas y verificar si cambian en la reacción dada:

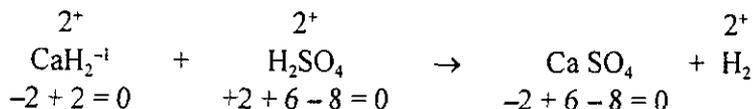


Respuesta correcta:



El hidrógeno puede trabajar con valencia  $1^-$  dependiendo de la naturaleza electronegativa del otro elemento con que se combina.

Respuesta del alumno:



El hidrógeno tiene siempre valencia 1. El número de valencia como número fijo. Küchemann (1980).

7. Calcular la masa del  $\text{Ca H}_2$  dadas las masas atómicas de los elementos:

$$M_{\text{Ca}} = 40.008/\text{mol} \text{ y } M_{\text{H}} = 1.008/\text{mol} \text{ (ítem No. 7).}$$

Respuesta correcta:  $(40.008) + 2(1.008) = 42.024$

Respuesta del alumno:  $40.008 \times 2(1.008) = 80.801$

Considera una multiplicación implícita entre los símbolos Ca y  $\text{H}_2$  como sucede en el álgebra con las literales.

## Conclusiones

La pragmática de los lenguajes algebraico y químico analizada a través de entrevistas clínicas realizadas a una población estudiantil preuniversitaria, ha puesto de manifiesto que la sintaxis algebraica y la sintaxis del lenguaje químico no son bien diferenciadas por

los estudiantes. Así mismo, la no especificidad de los símbolos del lenguaje algebraico y la semántica asociada a los mismos en el lenguaje químico, no son advertidos por los sujetos. Existe además un predominio de las reglas de la sintaxis algebraica sobre las expresiones simbólicas cuyas fuentes de significado se encuentran en la química (Castillo, Gallardo 1993). Por otra parte emergieron algunos de los errores reportados en la literatura de investigación sobre didáctica del álgebra, a saber: extrapolación de reglas (Matz, 1987), confusión entre lenguajes simbólico y lenguaje vernáculo (Freudenthal, 1985), métodos informales (Booth, 1984), uso de la literal como objeto, número fijo, incógnita, número generalizado (Küchemann, 1980). Cabe aclarar que el área de conocimiento, en este caso la química, tiñe con su especificidad el tipo de errores presentados por los estudiantes. A manera de ejemplo y como se deduce de los diálogos de las entrevistas, las reglas de extrapolación descritas por Matz en el contexto algebraico, no son las mismas que las aparecidas en el contexto químico.

Por último, cabe preguntarse que tipo de resultados hubieran surgido en los trabajos mencionados de didáctica del álgebra, si los autores hubieran considerado en sus investigaciones la coexistencia de los lenguajes algebraico y químico, presente de manera ineludible, en el ámbito escolar.

## Bibliografía

- BOOTH, L. (1984) Algebra: Children's Strategies and Errors. NFER-Nelson.
- CASTILLO, L. (1992) La coexistencia de dos lenguajes simbólicos: el lenguaje algebraico y el lenguaje químico (Un estudio experimental). Tesis de Maestría. Sección de Matemática Educativa.
- CASTILLO, Ó. y GALLARDO, A. (1993) Confrontación de dos lenguajes simbólicos: el lenguaje algebraico y el lenguaje químico. Un estudio con alumnos del nivel preuniversitario. Memorias del IV Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.
- CROSLAND, M. (1988) Estudios Históricos en el lenguaje de la química. Colección Historia de la Ciencia 4. Universidad Nacional Autónoma de México.
- FREUDENTHAL, H. (1983) Didactical Phenomenology of Mathematical Structures. P. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holanda.
- GILLES-GASTON GRANGER (1965) Formalismo y Ciencias Humanas. Ediciones Ariel, Barcelona, España.
- KÜCHEMANN, D. (1980) The Understanding of Generalised Arithmetic (Algebra) by Secondary School Children, Ph. D. Thesis, Universidad de Londres.
- LEVINSON, S. (1989) Pragmática. Editorial Teide, SA. Barcelona.
- MATZ, M. (1982) Towards Computation Theory of Algebra Competence. Intelligent Tutoring Systems. D. Sleeman and J. S. Brown Academic Press. Massachusetts Institute of Technology, EE. UU.