

¿Por qué las representaciones semióticas pueden ser obstáculos para la comprensión? Un estudio en el tema ácido-base

Cecilia Callone y Noemí Torres*

**ABSTRACT (Why can semiotic representations be barriers to understanding?
A study in the acid-base issue)**

In this paper we present the results obtained by investigating the responses of students at a first university chemistry course when faced with the same situation in the topic acid-base, expressed by different semiotic representations. The analysis of these results allowed us: 1) To assess the students' understanding of the raised situation. According to Duval (1999) a necessary condition for comprehension is that individuals can turn a semiotic register into another one. In this paper we point out that this is not sufficient. 2) To detail explicitly some erroneous conceptual regularities kept up by students, and 3) Underlying the answers to the given test, some implicit assumptions of epistemological and ontological origin could be recognized.

KEYWORDS: semiotic representations, acid-base, comprehension obstacles, ontological categories, misconceptions, domain theory

Introducción

La noción Bachelardiana de **obstáculo epistemológico**, como la causa del estancamiento y aun del retroceso en el proceso de construcción del conocimiento científico, ha tenido una fuerte impronta tanto en el campo de la filosofía de las ciencias y en la pedagogía (Camilloni, 2003, p. 10), como en el campo de la didáctica de las ciencias (Gomez Moliné y Sanmartí Puig, 2002; Furió *et al.*, 2000). En el contexto de comprender el carácter resistente, siempre presente, de los obstáculos y el modo de encarar su tratamiento, Peterfalvi (en Camilloni, 2003, pp. 132-134) considera que si bien a menudo los obstáculos se designan y se trabajan de una manera local, es decir ligados estrechamente a un contenido, habría que entenderlos como modos de pensamiento mucho más transversales, que afloran en las respuestas que dan los alumnos en diferentes contextos. Estos modos de pensamiento constituyen un obstáculo en la medida en que sean implícitos. El concepto de obstáculo entendido de esta manera guardaría una notable similitud con el de teorías

implícitas. Según Pozo Municio y Gómez Crespo (1998), para analizar las concepciones alternativas de los alumnos en un dominio dado de la ciencia, conviene diferenciar entre diversos niveles de análisis representacional.¹ En un nivel más superficial y por lo tanto metodológicamente más accesible y más fácil de explicitar por el propio sujeto, se hallarían las **respuestas de los alumnos**, es decir, las predicciones, los juicios, las interpretaciones, etc., que el sujeto realiza según las situaciones y tareas a las que se enfrenta. De hecho, la mayoría de las investigaciones sobre las concepciones de los alumnos se ha centrado en este nivel de análisis: plantear una tarea o un problema que induzca a los alumnos la activación de una representación y asumir que esa representación constituye una concepción alternativa con los rasgos de generalidad, resistencia al cambio y cierta coherencia. Sin embargo, en general, un rasgo esencial de estas representaciones es su **carácter situacional** son representaciones activadas para una situación específica sin que necesariamente estén almacenadas de modo permanente o explícito en el sistema cognitivo del sujeto. Mientras que algunas de las respuestas de los alumnos tienen un carácter contextual o situacional, otras, por su mayor funcionalidad, por su uso reiterado ante contextos diferentes, tienen carácter estructural. Estas últimas hay que estudiarlas

Este trabajo se llevó a cabo dentro del marco del proyecto aprobado y subsidiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires (UBACYT): "Estudio de los obstáculos que dificultan el aprendizaje significativo de la química en un primer curso universitario".

* Cátedra de Química, Departamento de Ciencias Exactas. Ciclo Básico Común, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria. Pab. III. C.A.B.A. (C.P. 1428). Argentina.

Correo electrónico: ntorres_51@hotmail.com

Fecha de recepción: 20 de marzo de 2012.

Fecha de aceptación: 16 de octubre de 2012.

¹ Según Bruner (1984, p. 122), una representación o un sistema de representación, es un conjunto de reglas mediante las cuáles se puede conservar aquello experimentado en diferentes acontecimientos. Podemos representar algunos sucesos por las acciones que requieren (representación enactiva), mediante una imagen (representación icónica), mediante palabras o con otros símbolos (representación simbólica).

no como ideas aisladas, sino como parte de un sistema de conocimiento más amplio, constituido por las relaciones entre esas representaciones. Las verdaderas concepciones alternativas para Pozo Muncio y Gómez Crespo, son producto de una **teoría de dominio** constituida por el conjunto de representaciones de diverso tipo activadas por los sujetos ante contextos pertenecientes a un dominio dado.² Estas teorías de dominio serían menos accesibles tanto para el investigador como para los propios procesos de explicitación del sujeto. Las teorías de dominio se infieren a partir de las respuestas de los alumnos, como una regularidad conceptual, una o más relaciones entre conceptos pertenecientes a un dominio dado. Estas teorías de dominio se hallarían representadas de modo explícito en la memoria permanente del sujeto, de allí su carácter de representaciones estables y persistentes. Dentro de un mismo sujeto pueden coexistir diversas teorías para un mismo dominio con grados distintos de consistencia interna y estabilidad. Estas teorías de dominio a su vez se organizarían a partir de una serie de supuestos implícitos, que constituirían una teoría-marco según Vosniadou o una teoría implícita según Pozo Muncio y Gómez Crespo (1998, p. 105). Estas **teorías implícitas** estarían constituidas a partir de un conjunto de reglas o restricciones en el procesamiento de la información que determinarían no solo la selección de la información procesada sino también las relaciones establecidas entre los elementos de esa información. Estas teorías tendrían un carácter más general que las propias teorías de dominio, ya que las representaciones activadas por los sujetos en diversos dominios, podrían compartir las mismas restricciones de procesamiento, y se basarían tanto en supuestos epistemológicos según Vosniadou, ontológicos según Chi, como conceptuales según Pozo Muncio y Gómez Crespo (1998, p. 109).

Los conceptos se transmiten y se construyen mediante representaciones semióticas como lo son las representaciones simbólicas y las representaciones gráficas. De acuerdo con el ámbito en el cual se presenten las representaciones, éstas pueden ser clasificadas en dos grandes grupos: internas y externas (Duval, 1999). Las representaciones externas son aquellas que pueden encontrarse fuera del individuo y que pueden entrar en interacción con él. Los sistemas de representación externa están conformados por conjuntos de signos que al agruparse de acuerdo a determinadas reglas generan representaciones acerca de los objetos y los hechos. Estas representaciones externas pueden ser comunicadas y compartidas por los sujetos, es decir son de carácter semiótico. Son sistemas de representación externa, la escritura en lenguaje natural, los símbolos y signos matemáticos, los símbolos químicos, los gráficos de diferentes

tipos (García García y Perales Palacios, 2006) que cumplen con funciones de comunicación, expresión, objetivación y tratamiento (Tamayo Alzate, 2006).

Según Duval (1999) no puede haber **aprehensión conceptual** de un objeto sin algún representante de éste; pero por otro lado la concreción de la aprehensión conceptual se expresa a través de una representación semiótica. La comprensión implica tres actividades cognitivas: la formación, el tratamiento y la conversión de las representaciones. La formación implica la selección de un conjunto de signos dentro de un sistema semiótico para la construcción de una representación; el tratamiento se refiere a la transformación de una representación en otra, ambas expresadas en el mismo sistema, mientras que la conversión considera la transformación entre representaciones en diferentes sistemas. Una incorrecta interpretación de las representaciones semióticas externas es en general la primera barrera con la que se encuentran nuestros alumnos para realizar un aprendizaje comprensivo. La comprensión de los conceptos es requisito para el logro de un aprendizaje significativo.

Cada alumno realiza una comprensión diferente de cualquier otra comprensión porque todo intento de dar significado se apoya no solo en los materiales de aprendizaje (representaciones externas) sino en los **conocimientos previos** activados para tal fin. Entre los conocimientos previos del alumno pueden encontrarse concepciones alternativas al saber científico que tienen origen sensorial, cultural e instruccional. Muchas concepciones alternativas en química se generan en parte en el proceso de enseñanza (Taber, 2002). El tema ácido-base no se enseña por lo general en la escuela, pero sí se aborda formalmente en el primer curso universitario de química, en el cual se lleva a cabo esta investigación.

Tanto las **concepciones alternativas** previas como las post-instruccionales pueden analizarse en distintos niveles, como ya se ha mencionado; de mayor a menor grado de accesibilidad se encontrarían las **respuestas de los alumnos**, las **teorías de dominio** y las **teorías implícitas** (Pozo Muncio y Gómez Crespo, 1998, p. 104).

La hipótesis que sostenemos es que la incorrecta interpretación de las representaciones externas expresadas en diferentes registros se debe tanto a algunos supuestos que sostienen los alumnos aunque de manera implícita (teorías implícitas), al desconocimiento de los códigos utilizados en dichas representaciones, como a las representaciones mismas y a la forma en que éstas son utilizadas en el proceso de enseñanza.

Nos proponemos en esta oportunidad, **indagar en la interpretación** que realizan los alumnos de dos representaciones de los mismos conceptos del tema ácido-base, expresadas en diferentes sistemas semióticos, tanto para estimar su grado de comprensión como para **hacer explícitas las regularidades conceptuales** que se infieren a partir de las respuestas erróneas de los alumnos (teorías de dominio) luego de la instrucción en el tema ácido-base, analizando y

² Entendemos por dominio tanto a toda área específica de conocimiento como a los subconjuntos de dominios particulares. En el presente trabajo nos referiremos al dominio de la química y dentro de éste al de equilibrio ácido-base.

reconociendo además algunos supuestos implícitos de origen epistemológico y ontológico que subyacen a las mencionadas respuestas.

Antecedentes

Conocemos muchas concepciones alternativas post-instrucción que sostienen los alumnos de química del primer curso universitario en el tema ácido-base, evaluadas con variados instrumentos que hemos aplicado con anterioridad a este trabajo, expresados en diferentes sistemas semióticos y que el lector puede consultar en las referencias bibliográficas citadas a continuación. Algunas de ellas son: 1) La solución de un ácido fuerte es de mayor concentración que la del ácido débil (dibujan la solución del ácido fuerte con mayor cantidad de partículas que la del ácido débil a pesar de tener las dos soluciones igual concentración molar); 2) No existe diferencia entre el ácido fuerte y el débil (realizan el mismo dibujo para las soluciones de ácido fuerte y débil de igual concentración molar); 3) Las uniones intermoleculares serían más intensas entre las moléculas del ácido fuerte que entre las del ácido débil (dibujan las partículas más juntas en el ácido fuerte que en el ácido débil); 4) La solución de un ácido débil es aquella que tiene cantidades iguales de moléculas de ácido sin ionizar que de pares de anión - catión producto de su ionización; 5) La concentración molar de iones hidronio de las soluciones de ácidos fuerte y débil es la misma si la concentración de preparación o inicial es la misma; 6) El ácido fuerte sería aquel que presenta uniones intramoleculares más intensas que el débil (dibujan las partículas del ácido fuerte asociadas mientras que las del ácido débil se dibujan ionizadas) (Callone *et al.*, 2008); 7) En los ácidos fuertes la concentración de ion hidronio es mayor que en los ácidos débiles; 8) El ácido fuerte se *disocia* totalmente y por lo tanto habrá menos cantidad de partículas (iones y moléculas) en solución; 9) El ácido fuerte es reconocido como una solución en cuya representación icónica aparecen moléculas de ácido (HA) sin ionizar; 10) La disociación se interpreta como desaparición de partículas (los alumnos utilizan el término disociación como sinónimo de ionización en concordancia con los textos tradicionales de Química General en los que se habla por ejemplo del “grado de disociación” de los ácidos débiles), y 11) el ácido fuerte es el de mayor acidez (Alí S. *et al.*, 2012).

Entre las posibles causas de dichas concepciones alternativas se encontrarían algunos supuestos implícitos de origen *epistemológico* como los son la asociación de conceptos por semejanza o igualdad en su terminología, la reducción funcional (Furió *et al.*, 2000) y el pensamiento analógico. También existirían supuestos de origen *ontológico* como la categorización de los ácidos a nivel submicroscópico como objetos y no como sistemas en interacción y de origen *conceptual* como el desconocimiento de la diferencia entre los conceptos de ionización y disociación en el marco de la teoría ácido-base de Brønsted y Lowry utilizada en el curso.

Encontramos además indicadores de que los alumnos tienen problemas al momento de interpretar representaciones expresadas en diferentes sistemas semióticos (Callone *et al.*, 2006; Torres *et al.*, 2009).

Metodología aplicada para la investigación

El instrumento (Anexo) utilizado con el fin de indagar en la interpretación que realizan los alumnos consiste de tres partes. La primera se encuentra formulada en registro simbólico, la segunda en registro verbal y la tercera consiste en un test de opciones múltiples basado en una categorización previa de explicaciones formuladas por los alumnos del Ciclo Básico Común (CBC) de cohortes anteriores. El instrumento también incluye una encuesta para conocer cuántos alumnos vieron este tema con anterioridad al curso actual y si consultaron bibliografía.

Las tres partes del instrumento se administraron secuencialmente. Una vez que los alumnos habían contestado la parte 1 se recogieron sus respuestas y se les entregó la hoja correspondiente a la parte 2. Se procedió de la misma manera con la última parte del instrumento. En cada una de las tres hojas entregadas por los alumnos se colocó un mismo número para poder analizar las respuestas de cada alumno y que a la vez el instrumento fuera anónimo. Esta forma de administrar las tres partes del instrumento por separado haría más confiables los datos obtenidos en cuanto a la interpretación de los enunciados en diferentes registros semióticos, al evitar que los alumnos pudieran relacionar en un mismo momento lo solicitado en cada una de las tres partes.

El test se administró a un total de 139 alumnos de la materia Química del CBC de la Universidad de Buenos Aires, provenientes de cuatro comisiones de dos sedes geográficas diferentes, correspondientes a diferentes bandas horarias y a diferentes profesores. Esta muestra resulta representativa del alumnado de dicha asignatura.

En todas las comisiones se había concluido la instrucción en el tema equilibrio ácido-base en la clase anterior a la que fue tomado el test.

Análisis de los resultados

A. Encuesta

La tabla 1 muestra el resultado de la encuesta incluida en el instrumento con el objeto de conocer el perfil de los alumnos de la muestra con relación a posibles instancias previas de enseñanza del tema y a la bibliografía consultada. El conocimiento de esta bibliografía como del porcentaje de alumnos que la utilizan nos permitiría inferir si las respuestas pueden estar condicionadas por las representaciones que se muestran en los libros.

Como muestra la tabla 1, la mayoría de los alumnos (67%) de la muestra se enfrenta por primera vez a muchos de los conceptos de equilibrio ácido-base en este primer curso universitario y un bajo porcentaje (29%) que consulta bibliografía condicionaría sus respuestas a las representaciones

Tabla 1.

Total de alumnos	Porcentaje de alumnos que han visto el tema con anterioridad	Porcentaje de alumnos que consultan bibliografía	Distribución en porcentaje de la bibliografía consultada
139	33%	29%	Química Básica (Di Risio et al., 2006) 19%; otros 10%

que se muestran en los libros. En consecuencia la mayoría de las respuestas guardan una relación estrecha con la enseñanza impartida en el presente curso.

B. Partes 1 y 2 del instrumento

B1. Análisis comparativo

Nos preguntábamos si entre los dos registros semióticos utilizados en las partes 1 y 2 del instrumento, alguno de ellos permitiría una mejor interpretación de las consignas (mayor cantidad de respuestas correctas).

Con pequeñas diferencias todos los porcentajes de respuestas correctas globales correspondientes al mismo ítem de las partes 1 y 2 son similares como se puede apreciar en la tabla 2. Estos valores no revelan mayor comprensión en un registro que en otro. Sin embargo, los resultados mostrados en la última columna de la misma tabla muestran que según el ítem, entre un 19% a un 29% de los alumnos que dan una respuesta en registro simbólico dan otra diferente en registro verbal. Esta falta de coincidencia revela que no son congruentes en la interpretación de los dos registros.

Un análisis más detallado de las no coincidencias, que consistió en comparar las respuestas de cada uno de los alumnos en ambos registros para cada uno de los ítems, reveló que el 49% de la muestra de alumnos respondió por lo menos un ítem de las partes 1 y 2 del test, sin lograr coincidencia en las respuestas. Este resultado nos lleva a pensar que la interpretación que realizan de los diferentes registros es diferente no pudiendo realizar lo que Duval denomina conversión entre representaciones.

Un ínfimo porcentaje de las no coincidencias (3%) fue debido a confusión de signos, lo que pudimos constatar cuando para cada alumno que respondía “menor” en el registro simbólico también respondía “mayor” en el registro verbal y viceversa.

Tabla 3.

Categorías de respuestas	Criterio de categorización	Implicancia
Congruentes correctas	Coincidencia de la respuestas en ambos registros y respuesta correcta	La conversión entre representaciones es condición necesaria para la comprensión (Duval, 1999).
Congruentes erróneas	Coincidencia de la respuestas en ambos registros y respuesta incorrecta	La conversión entre representaciones es condición necesaria pero no suficiente para la comprensión.
Incongruentes	No coincidencia de las respuestas en ambos registros	No hay conversión entre representaciones. No se interpreta lo mismo en un registro que en el otro. Obstáculo que habría que salvar.

B2. Análisis del grado de congruencia en las respuestas, correctas o erróneas, en ambos registros semióticos

Se establecieron tres categorías en las respuestas de los alumnos que se muestran en la tabla 3: Congruentes correctas, congruentes erróneas e incongruentes.

Los porcentajes correspondientes fueron calculados teniendo en cuenta 139 alumnos que respondieron a 5 ítems, según se detalla en la tabla 4 y se representan en la figura 1.

El porcentaje de respuestas congruentes por ítem se calcula sobre el total de la muestra (139 alumnos), y representa la fracción de alumnos que han interpretado lo mismo en los diferentes registros. Si el porcentaje es bajo indica que se interpreta de una manera en uno de los registros y se atribuye otra significación a la misma consigna cuando es expresada en el otro registro. En cambio, si el porcentaje de respuestas congruentes es elevado pero la respuesta es errónea esta situación podría deberse a un error conceptual o bien a una inadecuada formulación de las representaciones utilizadas en ambos registros semióticos.

Se revela un mayor índice de congruencia en las respuestas correctas que en las erróneas excepto en el ítem d. Los elevados índices o porcentajes de congruencia en las respuestas erróneas podrían indicar errores conceptuales y no de interpretación, análisis que se muestra en la sección de validación de hipótesis.

Tabla 2. Porcentaje de respuestas sobre un total de 139 alumnos (en negrita la respuesta correcta).

Item	Registro simbólico (%)				Registro verbal (%)				Comparación entre registros (%)
	>	=	<	No contesta	Mayor	igual	Menor	No contesta	Falta de coincidencia entre registros
a	67	19	10	4	66	19	11	4	19
b	18	65	12	5	17	65	14	4	20
c	14	60	20	6	18	62	15	4	22
d	35	41	20	4	37	37	22	4	21
e	26	18	50	6	24	13	58	5	29

Tabla 4.

Item	Respuestas congruentes correctas (%)	Respuestas congruentes erróneas (%)	Respuestas incongruentes (%)	No contestan en ambos registros (%)
a	58	19	19	4
b	58	18	20	4
c	53	20	23	4
d	27	47	22	4
e	41	25	30	4
% total sobre 695 respuestas	47	26	23	4

No se analizan en este trabajo las respuestas incongruentes pues las causas de la incongruencia pueden ser varias, como el desconocimiento de los códigos de las representaciones en uno o en ambos registros, el desconocimiento del tema o el azar en las respuestas.

C. Parte 3 del instrumento

¿Cuáles son las explicaciones de los alumnos que han dado respuestas congruentes pero erróneas acerca de lo que hay en ambos frascos?

En la tabla 5 se presentan los porcentajes de respuestas erróneas calculado sobre los 139 alumnos de la muestra para cada opción de la parte 3 del instrumento, que son indicativos de errores conceptuales que tienen los alumnos.

Se pone en evidencia un menor porcentaje de respuestas erróneas al indagar respecto de un ácido fuerte que de un ácido débil.

D. Búsqueda de regularidades conceptuales –teorías de dominio– y supuestos implícitos

Con el objetivo de explicitar y validar algunas hipótesis previas a este trabajo con respecto a algunos supuestos subyacentes a las respuestas erróneas de los alumnos, realizamos un análisis comparativo de los porcentajes de respuestas congruentes erróneas (partes 1 y 2 del instrumento) y de aquellos obtenidos en la tabla 5 (parte 3 de instrumento).

En la tabla 6 se presenta el análisis de cuatro situaciones, que permitirían validar dichas hipótesis, de respuestas congruentes erróneas agrupadas en cada caso en cuatro

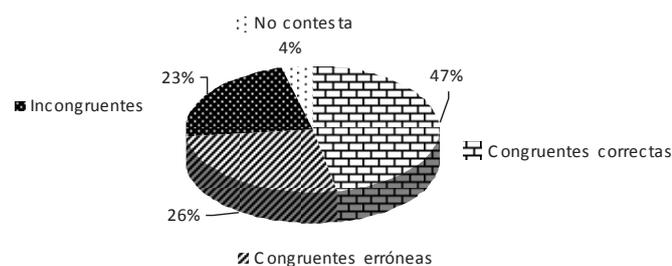


Figura 1. Categoría de respuestas (sobre 695 respuestas dadas).

Tabla 5.

Opción *	Frasco A (Ácido fuerte)					Frasco B (Ácido débil)				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Respuestas erróneas (%)	12	15	26	27	19	24	27	19	22	29

*En negrita indicamos las opciones correctas.

conjuntos definidos de la siguiente manera: el conjunto I corresponde al porcentaje de respuestas congruentes erróneas de las partes 1 y 2 del instrumento, el conjunto II corresponde al porcentaje de respuestas erróneas de la parte 3 del instrumento, el conjunto III es el conjunto intersección entre I y II, y el conjunto IV representa el porcentaje del conjunto III sobre el total del conjunto I.

En la figura 2 se muestran los diagramas de Venn para los conjuntos I, II y III.

El conjunto III mostraría a los alumnos con una representación mental errónea más profunda, arraigada y ramificada pues no solo hay congruencia en las respuestas en los diferentes registros semióticos sino que además escogen la opción errónea de la parte 3 del instrumento vinculada con las respuestas del conjunto I.

El conjunto IV (no incluido en el gráfico) da cuenta de la diversidad de concepciones respecto de las situaciones planteadas en las partes 1 y 2 del instrumento. Los porcentajes elevados indicarían que se ha encontrado una concepción alternativa, común a varios estudiantes. Los bajos porcentajes representados por este conjunto indicarían en cambio, la posible existencia de concepciones erróneas adicionales.

Analizamos a continuación cada una de las cuatro situaciones mencionadas:

SITUACIÓN 1. Los porcentajes mostrados para esta situación indican que solo un 13% de los alumnos que contestan $[Cl^-]$ (frasco A) = $[HCl]$ (frasco A) consideran que en ese frasco quedan moléculas de cloruro de hidrógeno disueltas. Un elevado porcentaje de estos alumnos saben que no quedan moléculas de cloruro de hidrógeno disueltas en el frasco (el 78% contestan correctamente Parte 3, Frasco A opción (d) y el 96% contestan correctamente Parte 3, Frasco A

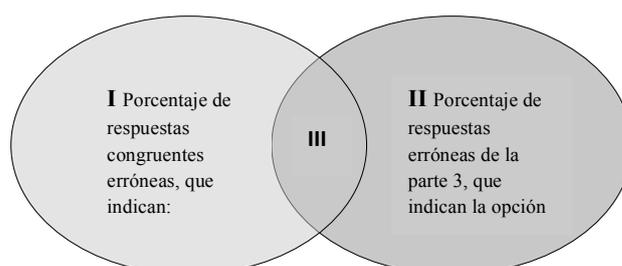


Figura 2. Diagramas de Venn para los conjuntos I, II y III.

Tabla 6.

Situación	Conjunto I Porcentaje calculado sobre el total de la muestra de respuestas congruentes erróneas, que indican:	Hipótesis previas con respecto a los supuestos implícitos	Conjunto II Porcentaje calculado sobre el total de la muestra de respuestas erróneas de la parte 3, que indican la opción:	Conjunto III Conjunto intersección entre I y II expresado en porcentaje sobre el total de la muestra	Conjunto IV Porcentaje del conjunto III sobre el total del conjunto I
1	d) igual “[Cl ⁻] (frasco A) = [HCl] (frasco A)” Los alumnos interpretan a la concentración de HCl en el frasco como la concentración inicial o de preparación. 33%	Fijación funcional al esquema de resolución de problemas. Subyacente a ello existe la mezcla de lo macro con lo micro con supuestos ontológicos distintos.	Frasco A b) correcta “En este frasco queda 0,1 mol de moléculas de cloruro de hidrógeno disueltas, 0,1 mol de iones hidronio y 0,1 mol de iones cloruro disueltos en agua” 15%	4%	13%
2	d) menor “[Cl ⁻] (frasco A) < [HCl] (frasco A)” Los alumnos pensarían que el ácido fuerte se ioniza poco porque presenta uniones químicas fuertes entre sus átomos. 14%	Asociación de conceptos por semejanza o igualdad en la terminología. *	Frasco A e) correcta “Al tratarse de una solución de un ácido fuerte, en este frasco la concentración de iones hidronio es menor que 0,1 molar pues las uniones entre los átomos de hidrógeno y cloro son fuertes” 19%	9%	60%
3	igual “[H ₃ O ⁺] (frasco A) = [H ₃ O ⁺] (frasco B)” Los alumnos pensarían que la concentración de ion hidronio únicamente depende de la concentración inicial, independientemente de si el ácido es fuerte o débil. 14%	Reducción Funcional. Para los alumnos la acidez es función únicamente de la concentración inicial del ácido y no lo es de la fuerza ácida. **	Frasco B e) correcta “En este frasco la concentración de iones hidronio es 0,1 molar porque se trata de una solución 0,1 molar del ácido” 29%	9%	65%
4	e) igual “[F ⁻] (frasco B) = [HF] (frasco B)” Los alumnos pensarían que en el ácido débil se establece un equilibrio en el que habría igual cantidad de reactivos que de productos. 9%	Asociación de la terminología equilibrio con la balanza. ***	Frasco B a) correcta “En este frasco queda disuelto igual número de moléculas de fluoruro de hidrógeno que de iones fluoruro porque en el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos” 24%	3%	31%

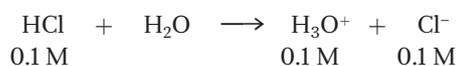
* Callone, C. et al., 2008; ** Ali, S. et al., 2012; *** Raviolo, A., 2006.

opción (a).³ Dado que en ambas opciones se explicita que en ese frasco no quedan moléculas de cloruro de hidrógeno disueltas, se puede concluir que la mayoría de estos alumnos *no tiene un error conceptual*. Si así fuera, sería razonable pensar que los alumnos realizan una misma interpretación, aunque errónea, de las consignas en ambos registros. El hecho de que sea una misma interpretación errónea nos lleva a reflexionar acerca de alguna causa subyacente a ambos enunciados.

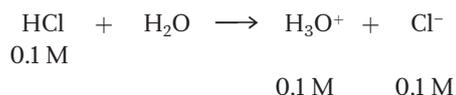
En primer lugar podríamos decir que al resolver este tipo de consignas los alumnos utilizan esquemas de resolución de problemas enseñados en clase, también presentes en alguna bibliografía. 18 alumnos (13% de la muestra) incluyen en las respuestas de las partes 1 y 2 del instrumento, aunque no se lo haya solicitado, esquemas de resolución que logramos cate-

gorizar en tipos diferentes como se muestra a continuación.

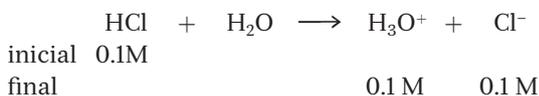
Tipo 1 (planteo de concentraciones en un renglón. También citado por Daizo y Gamboa (2009) y Di Risio, Roverano y Vazquez (2006)



Tipo 2 (planteo de concentraciones en dos renglones)



Tipo 3 (planteo de concentraciones en dos renglones diferenciando la situación inicial de la final)



³Éstos y otros datos, resultado del procesamiento realizado, están a disposición de posibles interesados.

De los 18 planteos encontrados 10 corresponden a los alumnos que contestan incorrectamente “d igual” y 8 a aquellos alumnos que responden correctamente la opción d, o sea “d mayor”. La distribución en los diferentes tipos de esquemas es muy similar para ambos grupos de alumnos y para sendos tipos de esquema como se ve en la tabla 7.

Estos resultados muestran que cualquiera sea el tipo de esquema planteado se puede interpretar correcta o incorrectamente, porque de los alumnos que recurren a estos esquemas como ayuda para la resolución de la consigna, 10 alumnos (56%) respondieron incorrectamente mientras que 8 alumnos (44%) lo hicieron correctamente.

Para los alumnos que contestan correctamente esta opción, cualquier tipo de esquema es una ayuda para la resolución pero para aquellos que contestan incorrectamente estos esquemas podrían actuar como un obstáculo para la comprensión según los argumentos que presentamos a continuación.

En estos esquemas simbólicos se mezclan las categorías ontológicas (Chi *et al.*, 1994) en las que puede ubicarse una solución. Desde el punto de vista macroscópico la solución es considerada un “objeto” y la concentración de la misma también llamada concentración inicial o de preparación es una propiedad o característica de dicho objeto. Mientras que en un nivel de representación submicroscópico la solución debe ser considerada como un sistema de partículas en interacción y las concentraciones de las partículas que interactúan en ese sistema remiten obligadamente a este nivel.

Podría ser que al escribir “en el frasco” remitiéramos a los alumnos a la concentración de la solución (inicial o de preparación) y no a la concentración de equilibrio o concentración resultante luego de la ionización. La solución sería considerada por los alumnos en la categoría “objeto” en lugar de hacerlo como un “sistema de partículas en interacción”. En tal caso habría un error didáctico al poner en las consignas “en el frasco”.

El porcentaje no despreciable de alumnos (13%) que para dar su respuesta utilizan explícitamente a los mencionados esquemas de resolución, nos permite validar nuestra hipótesis respecto de que existe un pensamiento que remite a algún esquema o algoritmo dado en clase, que el alumno utiliza sin reflexión adicional aferrándose a aquello que conoce. Los alumnos aceptan estos esquemas de resolución dados en clase o en la bibliografía y como dice Camilloni (2003), el nivel de aceptación estaría relacionado con la confianza que el sujeto deposita en la fuente de la afirmación, en este caso sus docentes y los libros.

Estos esquemas, aunque no se hagan explícitos en la mayoría de los casos, podrían ser el detonante del error conceptual detectado en el 15% de los alumnos representados por el conjunto II. Es posible que los alumnos, al verse ante la situación de tener que optar por una opción referida a las concentraciones relativas de las especies consideradas, recurran a una imagen mental de los esquemas mencionados previamente. Estos esquemas podrían actuar como

Tabla 7

Esquema	Alumnos que contestan “d igual” (Respuesta incorrecta)	Alumnos que contestan “d mayor” (Respuesta correcta)
Tipo 1	3	2
Tipo 2	3	3
Tipo 3	4	3

obstáculo. La causa del error sería la mala interpretación de los mismos a la que contribuyen por ejemplo los esquemas de tipo 1 en los que se exhiben una simplificación del proceso de ionización modelado en dos etapas, con un estado inicial que corresponde al cloruro de hidrógeno disuelto en agua, HCl (ac), y un estado final en el que prácticamente no existe cloruro de hidrógeno molecular. Aunque este tipo de esquema simplificado no confunde al experto, el alumno puede leerlo literalmente y en consecuencia incurrir en un error conceptual.

SITUACIÓN 2. El elevado valor del conjunto IV para esta situación validaría con fuerte peso la hipótesis planteada. Creemos haber encontrado una teoría de dominio que podríamos expresar mediante la siguiente proposición: “*El ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes*”. Esta teoría sería la idea que subyace a las respuestas que han dado los alumnos a diferentes tests (incluido el del presente trabajo) expresados en diferentes registros semióticos, que se muestran a continuación. En la tabla 8 se

Tabla 8.

Respuestas	%	Total de alumnos	Referencia
Representan mediante dibujos al ácido fuerte más asociado que al ácido débil	7	94	Callone <i>et al.</i> , 2008
Indican como ácidos fuertes las representaciones submicroscópicas de los ácidos débiles y optan por la opción: “Si el ácido HA es fuerte la unión química entre el átomo de H y el de A será fuerte por lo tanto la molécula de HA no se puede separar fácilmente”	10	136	Alí, S. <i>et al.</i> , 2012
Asignan al ácido fuerte la representación icónica de moléculas sin ionizar y asignan al ácido débil las representaciones icónicas de ácidos totalmente o parcialmente ionizados	12	122	Callone <i>et al.</i> , 2006
Responden congruentemente en los registros simbólico y verbal que la $[Cl^-]$ (frasco A) < $[HCl]$ (frasco A) (Instrumento parte 1 y 2, ítem (d))	14	139	Trabajo actual
Indican como correcta la opción: “Al tratarse de una solución de un ácido fuerte, en este frasco la concentración de iones hidronio es menor que 0,1 molar pues las uniones entre los átomos de hidrógeno y cloro son fuertes” (Instrumento parte 3, frasco A, (e))	19	139	Trabajo actual

Tabla 9.

Respuestas	%	Total de alumnos	Referencia
Representan mediante dibujos al ácido fuerte y al ácido débil (de igual concentración) igualmente ionizados	39	94	Callone <i>et al.</i> , 2008
Responden congruentemente en los registros simbólico y verbal que la $[H_3O^+]$ (frasco A) = $[H_3O^+]$ (frasco B) (Instrumento parte 1 y 2, ítem (a)). (Los frascos A y B contienen soluciones de la misma concentración de ácido fuerte y débil respectivamente)	14	139	Trabajo actual
Indican como correcta la opción: "En este frasco la concentración de iones hidronio es 0,1 molar porque se trata de una solución 0,1 molar del ácido". (El frasco B contiene una solución de ácido débil 0,1M) (Instrumento parte 3, Frasco B, (e))	29	139	Trabajo actual

presenta las respuestas, porcentaje de respuestas, total de la muestra y referencia o cita.

El supuesto implícito que subyace a tal proposición sería la asociación de conceptos por semejanza en su terminología, de origen epistemológico.

SITUACIÓN 3. El elevado valor del conjunto IV para esta situación validaría con fuerte peso la hipótesis planteada. Creemos haber encontrado otra teoría de dominio que la podríamos expresar mediante la siguiente proposición: "*La acidez es función únicamente de la concentración inicial de la solución ácida y no lo es de la fuerza del ácido*". Esta teoría sería la idea que subyace a las respuestas que han dado los alumnos a diferentes tests (incluido el del presente trabajo) expresados en diferentes registros semióticos, que se muestran a continuación. En la tabla 9 se presenta las respuestas, porcentaje de respuestas, total de la muestra y referencia o cita.

El supuesto implícito que subyace a tal proposición sería la reducción funcional, de origen epistemológico.

SITUACIÓN 4. El bajo porcentaje que muestra el conjunto I en esta situación, $[F^-]$ (frasco B) = $[HF]$ (frasco B), con respecto al exhibido en el mismo conjunto pero en la situación 1, $[Cl^-]$ (frasco A) = $[HCl]$ (frasco A), reforzaría lo expresado en el análisis de dicha situación ya que si "en el frasco" remite al estado inicial y los esquemas planteados para la ionización de los ácidos débiles no muestran una igualdad entre la concentración inicial y la de equilibrio de los iones, es razonable que los alumnos contesten $[F^-]$ (frasco B) < $[HF]$ (frasco B) (Instrumento parte 1, ítem (e)) con un elevado grado de congruencia en los dos registros semióticos utilizados (ver tabla 3). Aunque la respuesta es correcta, es posible que los alumnos comparen $[F^-]$ (frasco B) con la concentración inicial y no con la de equilibrio. Esto debería ser

indagado para desenmascarar un posible error conceptual en la respuesta correcta.

El valor mostrado en el conjunto IV revelaría que el 69% de los alumnos que eligieron la opción "igual" en el ítem e), tendrían una o más concepciones que no han sido indagadas en este caso.

Conclusiones

Mientras que el análisis de los porcentajes globales de respuestas no reveló una mayor comprensión en el registro simbólico que en el verbal, un análisis más detallado evidenció que más de la mitad de los alumnos encuestados interpretaron la misma situación de manera diferente en los dos registros investigados dando lugar a las tres categorías halladas: congruente correcta, congruente errónea e incongruente.

Hemos encontrado que existe mayor coherencia en la interpretación de los dos registros semióticos utilizados cuando los alumnos responden correctamente, que cuando lo hacen de manera incorrecta.

Según Duval (1999) una condición necesaria para la comprensión es que los alumnos puedan convertir una representación de un registro semiótico en otro, pero en este trabajo advertimos que no es suficiente, pues un elevado porcentaje de alumnos (36%) realiza dicha conversión aunque la respuesta es incorrecta, por lo que inferimos que no hubo comprensión (hemos llamado a estas respuestas "congruentes en ambos registros pero erróneas").

Los alumnos confunden la concentración de equilibrio o en el seno de la solución ácida (indicada en las consignas como concentración en el frasco) con la molaridad inicial o de preparación. Esta interpretación errónea de las consignas expresadas en diferentes registros se debería a una clasificación ontológica de la solución diferente de la propuesta. Es posible que se incurra en un error didáctico tanto al formular la consigna en las representaciones simbólicas indicando "en el frasco" como al utilizar algunos esquemas de resolución de problemas que propician la superposición de categorías ontológicas diferentes para la solución cuales son las de "objeto" a nivel macroscópico y la de "proceso" a nivel submicroscópico. Estas formas de representaciones semióticas no confunden al experto, se utilizan por ejemplo en los rótulos de las soluciones, HCl 0,1 M, HF 0,1 M, etc., pero habría que explicitarlas de otras maneras porque confunden al alumno. Esta confusión en los alumnos propicia la generación de ideas erróneas o concepciones alternativas en este dominio. Podría ser la causa por ejemplo de un posible error "enmascarado" en la respuesta correcta: $[F^-]$ (frasco B) < $[HF]$ (frasco B) en el caso de que los alumnos compararan la concentración del ion con la concentración inicial de la solución ácida, en lugar de hacerlo con la concentración de equilibrio. Una futura indagación se hace necesaria para confirmar este supuesto.

Desde el punto de vista didáctico sugerimos no utilizar representaciones semióticas en las que se posibilite la

superposición de categorías ontológicas diferentes como “objeto” y “proceso” sin la debida explicitación de los diferentes niveles de representación macroscópico y submicroscópico según corresponda, pues dichas representaciones actuarían como un obstáculo o barrera para la comprensión.

La triangulación de los resultados obtenidos con las diferentes partes del instrumento actual y con los de otros tests evaluados con anterioridad nos permitió validar algunas concepciones alternativas que sostienen nuestros alumnos como:

“El ácido fuerte se ioniza poco o no se ioniza porque entre sus átomos existe una unión química fuerte” y “La acidez es únicamente función de la concentración inicial del ácido y no de la fuerza ácida” que se constituyen en verdaderas teorías de dominio. Los supuestos implícitos a estas teorías de dominio serían de origen epistemológico como la asociación de conceptos por su terminología (ácido fuerte - unión fuerte) y la reducción funcional (dependencia de una única variable) respectivamente.

La presencia en las respuestas de los alumnos, aunque no requerida, de esquemas de resolución utilizados en clases como en la bibliografía, nos abre nuevos interrogantes. Por un lado podríamos suponer que muchos de nuestros alumnos para dar una respuesta a la situación planteada, recurrirían a una imagen mental dada por los mencionados esquemas. Un futuro estudio se orientará a determinar en qué medida se corrobora esta hipótesis.

Bibliografía

- Alí, S., Callone, C., Landau, L., Baumgartner, E., Torres, N., Multiestrategic analysis of misconceptions in acid-base equilibrium, Análisis multiestratégico de concepciones alternativas en equilibrio ácido base, *Journal of Science Education*, **13**(1), 13-17, 2012.
- Callone, C., Landau, L., Torres, N., Baumgartner, E., Interpretación de los alumnos de los lenguajes icónico, narrativo y simbólico en el tema ácido-base. *XXVI Congreso Argentino de Química*, ISBN-10: 987-1031-45-9 ISBN-13: 978-987-1031-45-0. Argentina: San Luis, 2006.
- Callone, C., Landau, L., Torres, N. y Baumgartner, E., Equilibrio ácido-base: representaciones icónicas como instrumento para detectar dificultades en su aprendizaje, *Revista Chilena de Educación Científica*, **7**(2), 43-52, 2008.
- Camilloni, A., *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. España: Gedisa, 2003.
- Chi, M., Slotta, J., de Leeuw, N., From things to process: a theory of conceptual change for learning science concepts, *Learning and instruction*, **4**, 27-43, 1994.
- Daizo, M. y Gamboa, R., *Química. Equilibrio Ácido/ Base en soluciones acuosas*. Argentina: Eudeba, 2009.
- Duval, R., Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales. Colombia: Universidad del Valle y Peter Lang S. A., 1999, citado en memorias de tesis doctoral de García García, J., 2005, consultada por última vez en junio 21, 2011 de la URL <http://hera.ugr.es/tesisugr/15518620.pdf>
- Di Risio, C., Roverano, M., Vazquez, I., *Química Básica*. Argentina: CCC Educando, 2006.
- Furió, C., Domínguez, C., Azcona, R. y Guisasaola, J., La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico. En: Perales Palacios, F. y Cañal de León, P. (eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. España: Marfil, 2000, p. 421-448.
- García García, J. J. y Perales Palacios, F. J., ¿Cómo usan los profesores de Química las representaciones semióticas?, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **5**(2), 247-259, 2006.
- Gomez Moliné, M., Sanmarti Puig, N., El aporte de los obstáculos epistemológicos, *Investigación educativa*, **13**(1), 61-68, 2002.
- Pozo Muncio, J. y Gómez Crespo, M., *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. España: Ediciones Morata, S. L., 1998.
- Raviolo, A., Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico, *Educ. quim.*, **17**(10), 300-307, 2006.
- Taber, K., Misconceptions re-conceived: why the effective teacher pays heed to the aufbau principle of learning. *A position paper for the virtual asynchronous RSC conference on What does a chemistry teacher need to know ?*, March 2002, consultada por última vez en agosto 12, 2012 de la URL <http://www.educ.cam.ac.uk/staff/tabber.html>
- Tamayo Alzate, O., Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas, *Revista Educación y Pedagogía*, **18**(45), 37-50, 2006.
- Torres, N., Landau, L., Baumgartner, E., Alí, S., Di Giacomo, M., Obstáculos que dificultan el aprendizaje significativo de la química: un análisis transversal, *Primer Congreso Internacional de Pedagogía Universitaria*, Publicado en el libro de resúmenes, ISBN 978-950-23-1682-6. Argentina: CABA, 2009.

Anexo

Instrumento

Encuesta

Estimado alumno: Te solicitamos responder las siguientes preguntas. Los resultados nos permitirán avanzar en el estudio de las dificultades que habitualmente se presentan en nuestros cursos y así poder realizar mejoras en la enseñanza de la materia. ¡Gracias por tu colaboración!

¿Has visto el tema equilibrio ácido-base con anterioridad?	
¿Has consultado alguna bibliografía para este tema? ¿Cuál?	

Parte 1. Registro Simbólico	Parte 2. Registro Verbal
<p>Dos frascos contienen 1 dm³ de agua. En el frasco A se coloca 0,1 mol de HCl (ácido fuerte) y en el B 0,1 mol de HF (ácido débil, $K_a = 6,31 \cdot 10^{-4}$), sin que se produzca cambio de volumen. Despreciando la concentración molar de iones hidronio provenientes de la autoionización del agua, coloca en los espacios en blanco los signos >, =, <, según corresponda.</p> <p>a) [H₃O⁺] (frasco A)..... [H₃O⁺] (frasco B) b) [H₃O⁺] (frasco A)..... [Cl⁻] (frasco A) c) [H₃O⁺] (frasco B)..... [F⁻] (frasco B) d) [Cl⁻] (frasco A)..... [HCl] (frasco A) e) [F⁻] (frasco B)..... [HF] (frasco B)</p>	<p>Dos frascos contienen 1 dm³ de agua. En el frasco A se coloca 0,1 mol de HCl (ácido fuerte) y en el B 0,1 mol de HF (ácido débil, $K_a = 6,31 \cdot 10^{-4}$), sin que se produzca cambio de volumen. Despreciando la concentración molar de iones hidronio provenientes de la autoionización del agua, completa los espacios en blanco con “mayor que”, “igual a” o “menor que”, según corresponda.</p> <p>a) La concentración molar de iones hidronio en el frasco A es la concentración molar de iones hidronio en el frasco B. b) La concentración molar de iones hidronio en el frasco A es la concentración molar de iones cloruro en el frasco A. c) La concentración molar de iones hidronio en el frasco B es la concentración molar de iones fluoruro en el frasco B. d) La concentración molar de iones cloruro en el frasco A es la concentración molar de cloruro de hidrógeno en el frasco A. e) La concentración molar de iones fluoruro en el frasco B es la concentración molar de fluoruro de hidrógeno en el frasco B.</p>

Parte 3. Opciones Múltiples

Dos frascos contienen 1 dm³ de agua. En el frasco A se coloca 0,1 mol de HCl (ácido fuerte) y en el B 0,1 mol de HF (ácido débil, $K_a = 6,31 \cdot 10^{-4}$), sin que se produzca cambio de volumen. Despreciando la concentración molar de iones hidronio provenientes de la autoionización del agua, indica si las siguientes afirmaciones son correctas (C) o incorrectas (I):

Frasco A

- a- En este frasco no quedan moléculas de cloruro de hidrógeno disueltas, queda 0,1 mol de iones hidronio y 0,1 mol de iones cloruro disueltos en agua.
- b- En este frasco queda 0,1 mol de moléculas de cloruro de hidrógeno disueltas, 0,1 mol de iones hidronio y 0,1 mol de iones cloruro disueltos en agua.
- c- Este frasco contiene una solución de ácido clorhídrico 0,1 molar.
- d- En este frasco no quedan moléculas de cloruro de hidrógeno disueltas.
- e- Al tratarse de una solución de un ácido fuerte, en este frasco la concentración de iones hidronio es menor que 0,1 molar pues las uniones entre los átomos de hidrógeno y cloro son fuertes.

Frasco B

- a- En este frasco queda disuelto igual número de moléculas de fluoruro de hidrógeno que de iones fluoruro porque en el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos.
- b- Este frasco contiene una solución de ácido fluorhídrico 0,1 molar.
- c- En este frasco no quedan moléculas de fluoruro de hidrógeno disueltas, queda 0,1 mol de iones hidronio y 0,1 mol de iones fluoruro disueltos en agua.
- d- En este frasco quedan moléculas de fluoruro de hidrógeno disueltas pero en una cantidad menor que 0,1 mol.
- e- En este frasco la concentración de iones hidronio es 0,1 molar porque se trata de una solución 0,1 molar del ácido.