

# Las representaciones semióticas utilizadas en la enseñanza de la química

Características por parte de los alumnos. Un estudio mixto [cualitativo-cuantitativo] en las clases de química del CBC de la UBA. Vol. 1

Autor:

Callone, María Cecilia

Tutor:

Wigdorovitz de Camilloni, Alicia

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título Magister de la Universidad de Buenos Aires en Didáctica

Posgrado

Las representaciones semióticas  
utilizadas en la enseñanza de la  
Química: características e impacto en la  
correcta conceptualización por parte de  
los alumnos. Un estudio mixto  
(cualitativo-cuantitativo) en las clases  
de Química del Ciclo Básico Común de la  
Universidad de Buenos Aires

Lic. María Cecilia Callone

Tesis de Maestría en Didáctica

Directora: Prof. Alicia Wigdorovitz de Camilloni

Co-Directora: Dra. Noemí Torres

Facultad de Filosofía y Letras - Universidad Nacional de Buenos Aires

Abril de 2015

Agradecimientos .....	6
Epígrafes.....	8
Introducción .....	10
<b>Capítulo 1: El problema objeto de investigación.....</b>	<b>20</b>
Tema y objeto de investigación.....	21
Delimitación y formulación del problema.....	21
Objetivo general.....	22
Objetivos particulares .....	22
<b>Capítulo 2: Antecedentes .....</b>	<b>23</b>
Investigaciones realizadas por GRINDIQ en el marco de proyectos UBA CYT .....	24
Investigaciones recientes referidas a las representaciones externas.....	27
En matemática.....	27
Representaciones externas utilizadas por los docentes de nivel primario.....	27
Representaciones externas utilizadas en el aprendizaje de nivel medio.....	27
Representaciones externas utilizadas en el aprendizaje de nivel universitario.....	28
En ciencias naturales.....	29
En química.....	29
En el dominio equilibrio ácido-base.....	30
<b>Capítulo 3: Marco teórico.....</b>	<b>32</b>
Modelos mentales - Teorías de dominio - Teorías implícitas.....	33
El concepto de representación.....	33
R-1 Tipos de representaciones.....	37
R-2 Clases de representaciones externas.....	38
R-2-1 Representaciones simbólicas.....	38
R-2-2 Representaciones gráficas.....	40
R-3 Las representaciones semióticas y la construcción de las representaciones mentales.....	40
R-4 Representaciones semióticas en la enseñanza de conceptos.....	42
El error.....	44
Errores conceptuales relacionados con las representaciones semióticas utilizadas durante la enseñanza.....	45
I- Con respecto al lenguaje verbal:.....	45
I-1- Errores debidos a la comprensión de las consignas de trabajo dadas en clase. Astolfi (1999).....	45
I-2- Errores relacionados con los enunciados.....	45
I-3- Errores relacionados con los términos específicos.....	45
II- Errores debido a la utilización de imágenes.....	46
III- Errores relacionados con el lenguaje simbólico.....	46

EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE .....	47
Importancia .....	47
Historia .....	47
Ácidos y Bases, Fuertes y Débiles.....	49
Autoionización del Agua.....	51
Soluciones Neutras, Ácidas y Básicas .....	51
Conceptos de Acidez, Basicidad, pH y pOH.....	51
Diferencia entre un ácido fuerte y débil .....	52
Concepto de Fuerza Ácida.....	55
Terminología utilizada en este trabajo.....	56
<b>Capítulo 4: Metodología</b> .....	57
Introducción. ....	58
La investigación .....	62
El momento de las decisiones previas .....	62
Planeamiento de un cuasi-experimento. ....	62
Diseño de los instrumentos.....	63
Encuesta: Enunciado .....	65
Test de evaluación de pre-requisitos: Enunciado y consideraciones de diseño .....	66
Pre-Test: Enunciado y consideraciones de diseño .....	70
Post-Test: Enunciados y consideraciones de diseño .....	73
Selección de grupos.....	86
El momento de la experiencia.....	86
Observaciones de clases.....	87
Enseñanza innovadora .....	87
Enseñanza tradicional.....	97
Tabla comparativa entre ambos tipos de enseñanza.....	98
Recolección de datos.....	98
Metodología del análisis de datos.....	99
<b>Capítulo 5: Análisis de los resultados</b> .....	101
Introducción. ....	102
El momento del análisis comparativo .....	110
Emparejamiento de grupos.....	110
Acciones de emparejamiento de grupos.....	111
Criterios para el emparejamiento de grupos .....	112
Resultados del emparejamiento de grupos .....	112

Resultados del test de pre-requisitos.....	114
Análisis del inciso 1 del test de pre-requisitos .....	116
Análisis del inciso 2 del test de pre-requisitos .....	118
Análisis del inciso 3 del test de pre-requisitos .....	120
Análisis del inciso 4 del test de pre-requisitos .....	121
Análisis comparativo de los resultados del pre-test y post-test en los incisos de opciones múltiples.....	123
Análisis del inciso 1 del pre-test vs inciso 5 del post-test .....	123
Análisis del inciso 2 del pre-test vs inciso 6 del post-test .....	125
Análisis del inciso 3 del pre-test vs incisos 7 y 8 del post-test .....	129
Análisis de los restantes incisos del post-test .....	132
Análisis comparativo de los incisos 1 y 2 del post-test .....	133
Antecedentes .....	136
Resultados .....	138
Análisis del inciso 3 del post-test .....	143
Antecedentes .....	144
Resultados .....	148
Análisis comparativo de los incisos 1, 2 y 3 del post-test .....	158
Análisis del inciso 4 del post- test .....	162
Resultados .....	163
Análisis comparativo de los incisos 9 y 9 bis del post-test.....	164
Inciso 9.....	164
Antecedentes .....	167
Resultados .....	168
Inciso 9 bis .....	171
Resultados .....	173
Resultados comparativos entre inciso 9 y 9bis .....	176
Triangulación .....	179
Validación de la comprensión .....	179
Validación de los errores conceptuales.....	180
<b>Conclusiones y Discusiones .....</b>	<b>184</b>
La comprobación de la hipótesis sostenida y los alcances de esta verificación .....	185
La síntesis del análisis de los resultados y las respuestas a las preguntas de investigación .....	186
Limitaciones y discusión .....	189
El aporte de esta tesis .....	192
Las propuestas para nuevas investigaciones que se abren como resultado del trabajo .....	192



# Agradecimientos

---

En primera instancia, agradezco a **Dios** por haberme regalado el don de la pasión por el conocimiento y el del amor al prójimo.

En segunda instancia, agradezco al **Ing. Daniel Edgardo Rey**, mi marido, quién me ha acompañado durante todo el proceso de mi formación de posgrado y me ha alentado grandemente a concretar el deseo de escribir esta tesis.

También agradezco a mis hijos, Juan Pablo y María Natalia, por animarme en los momentos difíciles de este proceso, y a mis padres, Ana y Aldo, por haberme mostrado un camino.

Agradezco de una manera especial a la **Prof. Alicia Camilloni** por sus enseñanzas, su paciencia y por su sensibilidad; y a la **Dra. Noemí Torres**, quién desinteresadamente me invitó a participar del grupo de investigación del cuál formo parte, por su rigurosidad científica y su dedicación al trabajo.

De una manera muy especial, quiero darle las gracias a mi jefe y compañero, **Prof. Lic. Salvador Alí**, por haber donado muchas horas de su tiempo a esta causa.

Agradezco a la Lic. María Gabriela Zubimendi, a los Lic. Eduardo Del Dago, Eduardo López, Guillermo Brudnick y a la Dra. Cecilia Di Risio, por haber hecho posible la realización de esta tesis.

A la Lic. Leonor Landau, la Ing. Haydée Monteserín y el Lic. Gastón Ricchi, integrantes de GRINDIQ, por sus importantes aportes.

Aprovecho esta oportunidad para agradecer a mis docentes del posgrado por lo que cada uno de ellos me ha brindado; en especial al Dr. Guillermo Ruiz, por su generosidad, a la Mg. Gabriela Augustowsky, y a la Prof. María Teresa Cafferatta.

También quiero agradecer a todos los docentes del profesorado del CEFIEC, en particular a la Dra. Lidia Galagovsky, y al Dr. Agustín Aduriz Bravo, por lo que han aportado a mi formación.

Como olvidarme en este momento de aquellos que ya no están con nosotros, pero que han dejado su impronta en mi persona: Prof. Guillermo Boido, Dra. Prof. Edith Litwin, y Dra. Prof. Estella Cols.

A todos mis amigos y compañeros de trabajo, que me han alentado en la realización de esta tesis.

Por último, aunque no menos relevante, agradezco a los cientos de alumnos, que han vivenciado mis clases, por ser una constante fuente de inspiración.

Gracias a todos. Que Dios los bendiga.

# Epígrafes

---

*“La tarea de comprender qué es la ciencia importa porque a la vez es comprender nuestra época, nuestro destino y, en cierto modo, comprendernos a nosotros mismos” . (Klimosky, 1995:21)*

*“Los significados de las palabras son formaciones dinámicas, no estáticas. Cambian conforme el niño se desarrolla: cambian también con las formas diversas en que funciona el pensamiento....la relación del pensamiento con la palabra no es una cosa, sino un proceso, un movimiento continuo, del pensamiento a la palabra y de la palabra al pensamiento” (Vygotsky, 1995: 202)*

*“Toda comprensión verdadera es dialógica por naturaleza” . (Voloshinov en Wertsch, J, 1993: 73).*

*“La palabra, en consecuencia, es puente y barrera para la comunicación, un obstáculo que, con frecuencia hay que salvar” . (Camilloni, 2003: 18).*

# Introducción

## El Problema

La elevada deserción y los bajos rendimientos de los alumnos en la materia Química del CBC dan cuenta de un gran problema educativo.

### El inicio de un largo recorrido

Ingresé a GRINDIQ<sup>1</sup> en 2006. Ahí conocí a Astolfi y Bachelard. Profundicé en “las ideas previas” y “el cambio conceptual” y posteriormente en los modelos mentales de Johnson-Laird.

Este estudio pretende abordar el tema de los **obstáculos** (Bachelard, 1948; Astolfi, 1999) que dificultan el **aprendizaje** de la Química en el Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires. La noción bachelardiana de obstáculo epistemológico (Bachelard, 1974), como las causas de las dificultades, de los estancamientos y aun, de los retrocesos en los procesos de construcción del conocimiento científico, ha tenido una fuerte impronta en el campo de la filosofía de las ciencias y en la pedagogía (Camilloni, 2003: 10), como también en el campo de la didáctica de las ciencias (Gómez Moliné y Sanmartí Puig, 2002, Furió et al, 2000).

Comencé con la maestría en didáctica. Allí me dejé seducir por algunas ideas de Jerome Bruner gracias al profesor Félix Temporetti y a partir de allí recreé el concepto de representación.

Junto con mi grupo de investigación fuimos realizando un avance en la identificación de obstáculos relacionados estrechamente con ciertos contenidos de la disciplina. Entre estos hallazgos se encuentran algunas representaciones semióticas como el lenguaje específico y las representaciones gráficas, que aparecen como un posible obstáculo para la comprensión. (Callone, C. et al. 2006 a; Callone, C. et al, 2006 b; Callone C. et al., 2008; Torres Noemí et al., 2009)

Se iba perfilando el objeto de **mi propia investigación**. Obstáculos y Representaciones en Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires.

Entre los múltiples factores que afectan la permanencia y el rendimiento de estos alumnos, el presente trabajo se focaliza en aquellos que constituyan obstáculos para la **comprensión** de los conceptos químicos relacionados con el tema equilibrio ácido-base.

Iba naciendo una idea... viendo los resultados año tras año en cuanto a la deserción durante la cursada, y la cantidad de alumnos que debían recursar esta materia. Fui entendiendo que la enseñanza que utiliza únicamente representaciones simbologías específicas de química y matemática, no era suficiente para que nuestros alumnos comprendieran. Símbolos, fórmulas,

---

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Didáctica de la Química. Grupo integrado por docentes de Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires.

ecuaciones y gráficos matemáticos no eran interpretados correctamente por los chicos.

Fue así que puse en tela de juicio a esta enseñanza tradicional que además no tiene en cuenta las ideas previas de los alumnos, ni explicita los niveles de representación (Johnstone, 1982) de la materia y sus cambios.

## La tesis

En esta investigación decidí poner a prueba mis conjeturas pedagógicas y didácticas.

La idea es que **los alumnos mejorarían la comprensión** si durante la enseñanza se explicitaran y vincularan los aspectos macroscópico y submicroscópico de la materia, si estos niveles se mostraran mediante representaciones semióticas de variados tipos, y si se explicitaran las concepciones alternativas, tanto las diagnosticadas en los alumnos, como otras conocidas por investigaciones previas, para someterlas a debate y contribuir mediante una actividad reflexiva y metacognitiva a fin de evitar que las ideas previas erróneas obstaculicen la construcción de un nuevo conocimiento.

Y las ideas conducen a la acción... en base a todo esto fue que se generó en mí la necesidad de buscar una forma de enseñanza alternativa a la tradicional ofrecida en el CBC.

La comprobación de estas conjeturas o hipótesis se llevó a cabo contrastando una propuesta de enseñanza innovadora con respecto a la enseñanza tradicional de química en el CBC en dos grupos distintos de alumnos.

La enseñanza tradicional, (debido a situaciones de contorno del CBC y a características propias de la disciplina), se caracteriza por la utilización de representaciones semióticas basadas en el lenguaje simbólico específico y verbal. Las representaciones gráficas, tanto de los aspectos macroscópico como submicroscópico de los fenómenos, se pueden ver de forma muy aislada en la bibliografía obligatoria de la cátedra. No se utilizan en las clases otros recursos más que la tiza y el pizarrón. No se toman diagnósticos ni evaluaciones de seguimiento a los alumnos con excepción de dos parciales.

**La propuesta innovadora se centró** en la vinculación del aspecto macroscópico con el submicroscópico de la materia, junto con la utilización de representaciones semióticas de diversos tipos como lo son las representaciones expresadas en lenguaje natural o verbal, representaciones gráficas y las simbólicas propias del lenguaje específico de la química.

## La medición

*“Se adquiere un **concepto** cuando se es capaz de dotar de significado a un material, es decir cuando se comprende dicho material...”* (Pozo Municio y Gomez Crespo, 1998: 89). 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** sino en los **conocimientos previos** activados para tal fin.

## ¿Cómo medir la comprensión?

Los conceptos se transmiten y se construyen mediante **representaciones semióticas**, como son las representaciones simbólicas y las representaciones gráficas. Para Duval (citado en García García, 2005) la comprensión implica tres **actividades cognitivas**: la formación, el tratamiento y la conversión de las representaciones; la **formación** se refiere a la construcción de una representación, seleccionando un conjunto de signos dentro de un sistema semiótico para que representen las características principales de un objeto, el **tratamiento** es la transformación de una representación en otra, que está construida utilizando el mismo sistema semiótico, por ejemplo la paráfrasis a través de la cual se transforma una expresión lingüística en otra y la **conversión** es la transformación de una representación en otra que está expresada en un sistema semiótico diferente.

Afirma García García, (2005: 33) que “Cuanto mayor sea el número y tipo de relaciones existentes entre las diversas representaciones internas (representaciones mentales) sobre un contenido, mayor es su comprensión conceptual. Esto se consigue llevando a cabo conversiones entre los distintos tipos de representaciones internas referidas al contenido a aprender” y continúa expresando que: “la construcción de representaciones internas depende de la construcción de representaciones externas o también llamadas semióticas” (Idem). Esta última afirmación la argumenta refiriéndose a lo expresado por Duval: “la diversificación de las representaciones semióticas (externas) de un mismo objeto aumenta la comprensión conceptual de los sujetos, pues la comprensión conceptual aparece ligada al descubrimiento de una invarianza entre representaciones semióticas heterogéneas” (Idem).

Estas ideas que he recogido de la lectura de la tesis de García García, iluminaron el desarrollo de mi presente trabajo, tanto en la innovación de la enseñanza que propuse y llevé a cabo, como en el establecimiento de criterios para medir la comprensión.

Con la finalidad de ir entrando en el tema que se presenta en este trabajo, suponga el lector la siguiente situación:

A lo largo de la escuela secundaria la mayoría de nuestros alumnos han tenido algunas horas de inglés, con lo cual en mayor o menor medida, para la mayoría de ellos el inglés no es algo tan extraño. También para la mayoría de nuestros alumnos son elementos familiares las computadoras personales. Es decir son vocablos familiares: monitor, mouse, disco rígido, etc.

Imaginemos entonces que les tomamos un test con una pregunta que diga

***“Can you describe a hard-disk?”***

Una vez que se entrega esta primera parte del test, le entregamos la segunda parte formada también por una sola pregunta:

***“¿Puede usted describir un disco rígido?”***

Concluida la toma de datos continúa el análisis del test. Las posibilidades de respuestas posibles y las causas a las que obedecen básicamente son las mismas, con lo cual lo describiremos una sola vez. Básicamente hay 3

posibilidades:



Pero para cada una de ellas hay más de una causa posible a su respuesta.

Veamos entonces las posibilidades que se abren de

**“No contesta”.**

Sin pretensiones de exhaustividad o completitud, la lista de causas por las que el alumno no contesta puede estar formada por:

1. Nunca tuvo clases de inglés
2. No conoce el verbo “describe” a pesar de conocer lo que es un hard-disk
3. No conoce lo que es un “hard-disk”, a pesar que entiende lo que significa “describe”
4. No conoce ni el verbo, ni el objeto
5. No tiene ganas de contestar el test, entonces no lo hace
6. Accidentalmente no leyó esa parte del test
7. Otras

Las posibilidades de una **“Respuesta incorrecta”** pueden estar ligadas a:

1. Describir incorrectamente, por no conocer el objeto
2. No describirlo, a pesar de conocerlo
3. Entrar en alguna confusión generada por el término “hard”

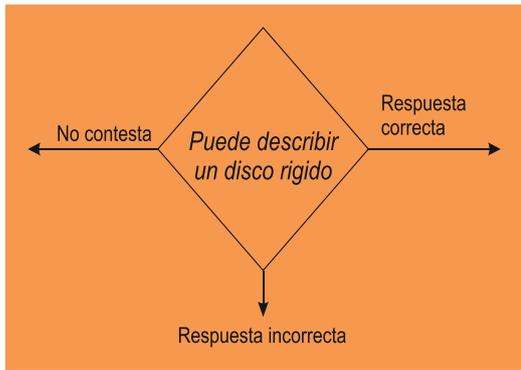
Las posibilidades de una **“Respuesta correcta”** también son varias en este caso, lamentablemente

1. Describir correctamente un disco rígido
2. Responder simplemente “SI”
3. Responder simplemente “NO”

Estas 2 últimas respuestas son posibles y correctas. El test no dice *“describe un disco rígido”*, a pesar que es lo que se pretende, sino que está preguntando *“si puede describirlo”*.

Evaluaciones mal instrumentadas son posibles, casi habituales, pero aunque no se trate del tema central en esta oportunidad, esto no se puede desconocer si se pretende abordar el concepto de obstáculo.

Como se dijo, terminado el test en inglés, se formula la misma pregunta en español.



Del análisis de las respuestas en español se abren las mismas posibilidades de respuestas posibles.

Un análisis posterior tendría que ver con la congruencia entre ambas respuestas, es decir **analizar si el alumno contesta de igual modo en ambos casos.**

De la congruencia o no de ambas respuestas se abren nuevas posibilidades de análisis, pero a grandes rasgos lo que más nos interesa son los siguientes casos:

1. Describen correctamente el objeto en ambos casos- **Respuestas congruentes y correctas**
  - a. Manejan ambos lenguajes
  - b. Interpretan las consignas de la misma manera (a pesar de estar mal formuladas)
  - c. Conocen el objeto a describir
2. Describen mal el objeto en ambos casos- **Respuestas congruentes erróneas**
  - a. Manejan ambos lenguajes
  - b. Interpretan las consignas de la misma manera (a pesar de estar mal formuladas)
  - c. No conocen bien el objeto a describir
3. Contestan de manera diferente en ambos casos- **Respuestas incongruentes**  
Se desprenden cuatro posibilidades:
  - 3.1. Contestan bien en un idioma y mal en el otro
    - a. Maneja un lenguaje
    - b. Conoce el objeto
    - c. interpreta algo diferente en el otro idioma
  - 3.2. Contestan bien en un idioma y no contesta en el otro
    - a. Maneja un lenguaje
    - b. Conoce el objeto
    - c. No está claro si maneja el otro idioma
  - 3.3. Contesta de manera diferente e incorrecta en ambos idiomas
    - a. No está claro si manejan los idiomas
    - b. No está claro si conocen el objeto
  - 3.4. Contesta de manera incorrecta en un idioma y no contesta en el otro
    - a. No está claro si manejan los idiomas
    - b. No está claro si conocen el objeto

#### 4. No contestan en ambos casos- **No contesta**

- 4.1. No está claro si manejan los idiomas
- 4.2. No está claro si conocen el objeto

Haciendo foco en la química, no se busca que los alumnos entiendan la ciencia cuando la pregunta se formula en español, en inglés, en francés, en italiano, etc, etc. Nada de eso. El ejemplo anterior sobre el “hard-disk” fue introducido por su simplicidad, para mostrar las posibles diferencias que se podrían obtener en las respuestas cuando se formulan en diferentes “idiomas”.

En el presente trabajo me referiré a diferentes “**representaciones semióticas**”. He publicado una metodología, en la que he establecido categorías de respuestas, útil para medir la comprensión y con la finalidad de utilizarla para esta investigación (Callone y Torres, 2013). Su desarrollo se expone en el capítulo de análisis de resultados.

#### ¿Cómo detectar obstáculos?

Uno de los problemas fundamentales para el aprendizaje de la ciencia es que su enseñanza apenas cambia los conocimientos previos que tienen los alumnos en términos de los cuales interpretan los conocimientos científicos que se les enseñan, ya que en lugar de reinterpretar sus conocimientos en función de los conceptos científicos, suelen hacer lo contrario, asimilar la ciencia a sus conocimientos cotidianos. Según Pozo Municio y Gómez Crespo (1998) las **concepciones alternativas** serían los resultados explícitos de unas teorías sostenidas por los alumnos, **teorías de dominio**, que subyacen a las respuestas erróneas de los estudiantes. Las teorías de dominio vendrían a proporcionar los rasgos invariantes de algunos **modelos mentales** (Johnson-Laird, 1983; Redish, 1994; Rodrigo, 1997) activados en diferentes contextos dentro de un mismo ámbito de conocimiento. Las teorías de dominio se organizarían a partir de supuestos implícitos que constituirían una teoría-marco o una **teoría implícita** (Pozo Municio y Gómez Crespo, 1998:106).

Hemos publicado en conjunto, con mi grupo de investigación, una metodología para encontrar concepciones alternativas en el tema equilibrio ácido-base en el artículo “Multistrategic analysis of misconceptions in acid- base equilibrium” del Journal of Science Education, (Alí et al., 2012).

Junto con la codirectora de esta tesis hemos hallado algunas teorías de dominio en este tema ácido-base y hemos analizado algunos supuestos implícitos que fueron publicados en la Revista Educación Química, con el título: “¿Por qué las representaciones semióticas pueden ser obstáculos para la comprensión? Un estudio en el tema ácido-base”, algunas teorías de dominio (Callone y Torres, 2013).

## ¿Cómo aproximarse a los modelos mentales de los alumnos?

Según Moreira y otros (2002: 49), la **comprensión** de un fenómeno natural, requiere de la construcción de **modelos mentales** que actúen como análogos estructurales de aquel, como intermediarios a la luz de los cuales adquieran significado los conceptos científicos y las relaciones que se establecen entre ellos. Para el mismo autor, los **modelos conceptuales** son representaciones externas compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee.

Denominamos **modelos conceptuales** a todas las representaciones externas tanto formuladas por alumnos como por docentes, en la medida en que muestren relaciones o vinculaciones entre conceptos. Si bien desconocemos la relación que pudiera existir entre los modelos mentales y los conceptuales, sostenemos que las representaciones externas pueden ser buenos indicadores de las relaciones conceptuales que operan en la mente de las personas. Por lo tanto, inferimos comprensión y reconocemos errores a partir de los modelos conceptuales que nos presentan los alumnos analizando sus representaciones externas para una situación planteada.

En este trabajo formulamos una re-categorización de modelos conceptuales referidos a equilibrio ácido-base, basada en el artículo: "Representaciones icónicas en equilibrio ácido-base como instrumento para detectar dificultades en el aprendizaje" que he publicado junto con mi grupo de investigación en Revista Chilena de Educación Científica (Callone et al, 2008).

Esta reformulación nos permitió evaluar tanto la comprensión como los errores arraigados de los alumnos.

### Selección del tema

Se eligió, entre todos los contenidos del programa de Química del CBC, realizar la medición final en el tema **equilibrio ácido-base**.

Su importancia para esta tesis reside en las siguientes razones:

Para la gran mayoría de los alumnos del CBC, resulta ser el primer contacto con la enseñanza formal del tema ya que no suele enseñárselo en la escuela secundaria y si se lo enseña no se lo hace con suficiente profundidad. Entonces es de suponer que los alumnos no cargarían con ideas previas inducidas por una enseñanza anterior, hecho que permitiría realizar inferencias más objetivas al efectuar la comparación entre la modalidad de enseñanza tradicional y la innovación propuesta en esta investigación.

Por otra parte, equilibrio ácido-base es un tema integrador de muchos conceptos y relaciones entre conceptos; en este sentido es un tema complejo que resulta de fundamental importancia para muchos alumnos en relación con el resto de su formación académica.

Por último, una razón que no es de índole metodológica, sino más bien pedagógica: como la gran mayoría de los alumnos del CBC son estudiantes de medicina y no vuelven tener una materia de química general,

es de fundamental importancia que culminen sus estudios de química en el CBC habiendo comprendido los conceptos de acidez y fuerza ácida.

### **La experimentación**

Para la medición se utilizó una **metodología comparativa entre dos grupos** y se llevó a cabo en **dos etapas**.

Se seleccionaron dos comisiones de alumnos de química del CBC y a partir de ellas se establecieron los dos grupos para la comparación.

Se denominó grupo experimental, en adelante GE, a la comisión de alumnos que fueron enseñados con esta nueva metodología desde el comienzo y durante toda la cursada. Se denominó grupo de control, en adelante GC, a una muestra de la otra comisión, correspondiente a los alumnos de un profesor cuya enseñanza se puede considerar como “enseñanza tradicional”.

El GE es un grupo intacto- alumnos de la autora de esta tesis- docente de química del CBC, quien estuvo a cargo del curso desde que se iniciaron las clases hasta el comienzo del tema equilibrio ácido - base. Para darle mayor objetividad al estudio, se previó la posibilidad de que un tercer profesor tomara a su cargo el dictado de la secuencia ácido-base en este grupo, y aplicara esta nueva metodología. Este cambio de docente efectuado le otorgó mayor imparcialidad al experimento, en la medida que él mismo fue quien diseñó sus clases teniendo en cuenta los tres ejes básicos de esta nueva forma de enseñar “la química” del CBC, que consisten como ya se ha mencionado, en relacionar los niveles macroscópico y submicroscópico de la materia, utilizar representaciones semióticas expresadas en diferentes registros y “trabajar” con las concepciones alternativas en una actividad reflexiva y metacognitiva. Se efectuó la observación de sus clases y se corroboró la implementación de la innovación propuesta en la enseñanza.

El GC es un subgrupo de la otra comisión de alumnos, correspondiente a un profesor cuya enseñanza se puede considerar como “enseñanza tradicional”. Este subgrupo surgió a partir de la operación de “emparejamiento de grupos” que se realizó para minimizar las diferencias entre grupos, adoptando criterios que se justifican en el capítulo de metodología de este escrito. Esta operación se realizó para darle mayor confiabilidad al estudio comparativo aunque sin pretensiones de llevar a cabo un estudio de carácter experimental, se efectuó para lograr la equivalencia inicial de los grupos. Se observaron también sus clases y se corroboró que su enseñanza respondía a las características de una enseñanza tradicional.

La primera etapa de experimentación se inició con el comienzo de las clases, y terminó antes de impartirse la enseñanza de la secuencia ácido-base. Terminada esta etapa, se llevó a cabo una evaluación, con el objetivo de constituir una primera puesta a prueba de esta nueva metodología de enseñanza. Para esto se evaluaron las respuestas de los alumnos de ambos grupos con respecto a algunos conceptos enseñados, y que son prerrequisitos del tema ácido-base.

La segunda etapa comenzó con la secuencia del dictado ácido-base y concluyó cuando terminó esta secuencia. El objetivo de esta etapa fue constituirse en una segunda puesta a prueba de la nueva metodología de enseñanza propuesta. Para esto se utilizó una metodología comparativa de los dos mismos grupos, con pre-test y post-test, que permitió evaluar tanto el conocimiento previo de conceptos propios del tema ácido-base como la comprensión de los conceptos de acidez y de fuerza ácida.

Los test originales que se impartieron a los alumnos de ambos grupos fueron previamente consensuados con la codirectora de este trabajo, quien es integrante del cuerpo de profesores de la cátedra de química del CBC.

La importancia de su aporte radica en que, al pertenecer ella al grupo de profesores que toman decisiones académicas en esta materia, aseguraría que los alumnos de ambos grupos se encontrarán en similar situación frente a la interpretación de las consignas.

Este hecho le otorga mayor objetividad a los datos obtenidos.

### **Los resultados**

En ambas etapas de evaluación de la nueva propuesta de enseñanza, los alumnos del grupo experimental lograron mejores resultados que los alumnos del grupo de control.

A partir del análisis de los resultados del pre-test y del post-test se comprobó que:

- el GE respondía correctamente en mayor medida que el GC
- en el GE se constituyeron errores arraigados en menor medida que en el GC
- en mayor medida los alumnos del GE que los del GC presentarían modelos mentales similares a los modelos enseñados
- la comprensión lograda por los alumnos del GE fue mejor a los del GC

### **Las conclusiones**

Se pudo comprobar que la metodología diseñada y empleada en este estudio, para este caso, fue apta para el dictado de los contenidos, tanto prerrequisitos del tema ácido-base (primera etapa), como los de acidez y fuerza ácida (segunda etapa).

Este trabajo ha contribuido con algunas metodologías originales y que otorgan referentes ampliatorios de los marcos teóricos utilizados, tanto para medir la comprensión como para indagar en los modelos mentales y en las teorías de dominio de los alumnos.

# Capítulo 1: El problema objeto de investigación

---

## Tema y objeto de investigación

Las **representaciones** que construyen los científicos acerca de la materia y sus interacciones se expresan en diversos sistemas de representación externa (sistemas de signos), es decir, en diferentes registros semióticos. Las representaciones semióticas pueden ser de diferentes tipos: términos y enunciados, imágenes, esquemas gráficos, ecuaciones, fórmulas, etc. Estas representaciones externas, además de servir para representar los fenómenos estudiados por las ciencias y comunicar los resultados del trabajo científico, son utilizadas en las clases de ciencias.

Si bien las representaciones semióticas son un puente en la comunicación de la ciencia, también por sus características y/o formas de conectarlas entre sí podrían ser una barrera que obstaculizara el aprendizaje, conduciendo al alumno a la construcción de ideas erróneas.

El **objeto de esta investigación** son las representaciones semióticas utilizadas en el proceso de enseñanza de química, sus características e impacto en la comprensión de algunos conceptos por parte de los alumnos de Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires (CBC).

La **idea de este trabajo** es comparar la modalidad tradicional de enseñanza de Química en el CBC, contrastándola con otro tipo de enseñanza.

Este **nuevo tipo de enseñanza** se diferencia de la tradicional pues incluye múltiples representaciones semióticas, expresadas en diferentes registros, que permiten la “visualización” de los fenómenos sujetos a estudio, tanto desde un punto de vista sub-microscópico, como macroscópico y simbólico de la materia. Simultáneamente con esta nueva modalidad se explicitan las concepciones alternativas, tanto las diagnosticadas en los alumnos, como otras conocidas por investigaciones previas, para someterlas a debate y contribuir mediante una actividad reflexiva y metacognitiva a evitar que las ideas previas erróneas obstaculicen la construcción de un nuevo conocimiento.

## Delimitación y formulación del problema

En cuanto a las representaciones semióticas utilizadas en clase, ¿en qué condiciones los alumnos lograrían mayor comprensión de los conceptos relacionados con el tema ácido- base?

¿Cuáles serían las ideas erróneas que construirían los alumnos, que se pudieran vincular a una mala interpretación de las representaciones semióticas presentadas en la clase durante el proceso de enseñanza?

¿Cuál de ambas modalidades de enseñanza sería aquella en la que los alumnos lograrían una mayor comprensión y presentarían una menor cantidad de errores arraigados?

Algunas características de la enseñanza tradicional de Química del CBC son:

- No se utilizan en general representaciones semióticas gráficas, ya sean imágenes, o esquemas gráficos

- No se suelen establecer conexiones entre los niveles submicroscópico (molecular) y macroscópico de la materia y sus interacciones
- No se interpela a los alumnos, ni se los interroga, no se hacen evaluaciones de diagnóstico; en consecuencia no se suele prestar especial atención a los conocimientos previos con los que llegan los alumnos a las clases

Esta investigación pretende aportar evidencia empírica acerca de que habría otras formas de enseñanza, diferentes a la tradicional, que incluirían múltiples representaciones semióticas, y tratamiento de las ideas previas, que contribuirían en los procesos de enseñanza y de aprendizaje a mejorar la comprensión conceptual y disminuir los errores conceptuales arraigados en los alumnos.

De todo el programa de Química de CBC, y como para recortar el campo (de investigación), esta investigación se centra en el tema ácido-base y sus pre-requisitos, aunque se podría haber realizado en cualquier otro.

El tema ácido-base es particularmente interesante para este estudio pues, para la gran mayoría de los alumnos del CBC, resulta ser el primer contacto con la enseñanza formal del mencionado tema, y por lo tanto se podría pensar que los alumnos no cargarían con ideas previas inducidas por una enseñanza anterior.

## Objetivo general

Evaluar el impacto de una enseñanza innovadora, diferente de la enseñanza tradicional, contrastando la comprensión, y al mismo tiempo evaluando los errores conceptuales arraigados (teorías de dominio) de los alumnos involucrados en una u otra modalidad de enseñanza.

## Objetivos particulares

- Desarrollar una metodología para evaluar la comprensión
- Profundizar en el desarrollo de una metodología para evaluar los errores arraigados (teorías de dominio)
- Establecer criterios para evaluar los errores que se generan en los procesos de enseñanza y de aprendizaje
- Evaluar la comprensión conceptual después de la enseñanza
- Caracterizar los errores de los alumnos con respecto a los conceptos vinculados con el tema ácido- base, antes y después de la enseñanza
- Correlacionar, si fuera posible, las representaciones semióticas utilizadas en la enseñanza de determinados conceptos, con los errores de interpretación de los alumnos

## Capítulo 2: Antecedentes

---

## Investigaciones realizadas por GRINDIQ en el marco de proyectos UBA CYT

GRINDIQ es un grupo de investigadores en didáctica de la química que se constituyó en el marco de proyectos UBA CYT. El objetivo general de este grupo es el de lograr una mejora continua en la enseñanza de química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires.

La autora de esta tesis ingresó como investigadora de apoyo a este grupo a fines del año 2005 en el marco del proyecto **“Como enseñar a partir del error. Detección de obstáculos epistemológicos en un curso masivo de Química”** dirigido por el Doctor Erwin Baumgartner, titular en ese momento de la cátedra de Química del CBC. La autora de esta tesis junto con su grupo presentó los trabajos:

- **“Detección de obstáculos epistemológicos en equilibrio ácido-base”** en las VII Jornadas de enseñanza universitaria de la Química, llevadas a cabo del 9 al 12 de Abril de 2006 en Comodoro Rivadavia, Chubut. Este trabajo recibió en aquella oportunidad el premio: mención al mejor póster presentado
- **“Interpretación de los alumnos de los lenguajes icónico, narrativo y simbólico en el tema ácido-base”** en el XXVI Congreso Argentino de Química, llevado a cabo del 13 al 15 de Septiembre de 2006 en San Luis
- **“Representaciones icónicas en equilibrio ácido-base como instrumento para detectar dificultades en el aprendizaje”** en las V Jornadas internacionales para la enseñanza preuniversitaria y universitaria de la Química, llevadas a cabo del 13 al 15 de noviembre de 2007 en Santiago de Chile. Es esa oportunidad fue invitada a publicar los resultados de su trabajo en la Revista Chilena de Educación Científica. Esta publicación se hizo efectiva al año siguiente (Callone et al., 2008)

En 2008 comenzó otro proyecto de investigación, **“Estudio de los obstáculos epistemológicos que dificultan el aprendizaje significativo de la Química en un primer curso universitario”** dirigido por la doctora Noemí Torres, profesora asociada de la Cátedra de Química del CBC de la UBA. La autora de esta tesis junto con su grupo de investigación presentó los trabajos:

- **“Estructuras explicativas de los alumnos como llave para acceder a los obstáculos que dificultan el aprendizaje significativo de la química”** en el I° Encuentro - La Universidad de Buenos Aires: Producción y Trayectoria Pedagógica, llevado a cabo el 29 de octubre de **2008** en C.A.B.A.
- **“Equilibrio ácido-base: avances en el diseño de un instrumento icónico destinado a detectar dificultades en su aprendizaje”** en el Congreso Internacional de Educación en Ciencias, llevado a cabo desde el 15 al 18 de Julio de **2009**, Cartagena, Colombia.  
Publicado en las memorias del congreso. Journal of Science Education, vol. 10, pág. 191. 2009
- **“Abordaje multiestratégico utilizado para indagar en los procesos de razonamiento de los alumnos en equilibrio ácido-base”** en el Congreso Internacional de Educación en Ciencias, llevado a cabo desde el 15 al 18 de Julio de 2009, Cartagena, Colombia.  
Publicado en las memorias del congreso. Journal of Science Education, vol.10, pág. 191. 2009. En

tal oportunidad fuimos invitados a publicar los resultados de nuestros trabajos en la revista Journal of Science Education. La publicación ***“Multistrategic analysis of misconceptions in acid-base equilibrium”*** se hizo efectiva un año y medio más tarde (Alí y otros, 2012).

- **“Obstáculos que dificultan el aprendizaje significativo de la química: un análisis transversal”** en el Primer Congreso Internacional de Pedagogía Universitaria, participando del taller: “Los estudiantes, condiciones de permanencia y avance en los estudios”, llevado a cabo del 7 al 9 de septiembre de **2009** en la Facultad de Derecho, C.A.B.A., Argentina. Publicado en el libro de resúmenes. Eudeba, 2009.
- **“Estudio de la dimensión transversal de obstáculos detectados en el aprendizaje de conceptos básicos de Química”** en las VI Jornadas Internacionales y IX Jornadas Nacionales Enseñanza Universitaria de la Química, llevadas a cabo del 9 al 11 de junio de **2010** en Santa Fe, Argentina.
- **“Diferentes registros semióticos en el tema ácido-base. ¿Puentes o barreras para la comprensión?”** en las VI Jornadas Internacionales y IX Jornadas Nacionales Enseñanza Universitaria de la Química, llevadas a cabo del 9 al 11 de junio de **2010** en Santa Fe, Argentina.
- **“Fuerza ácida versus concentración: concepciones alternativas analizadas desde un abordaje multiestratégico”** en el XXVIII Congreso Argentino de Química. 4ª Workshop de Química Medicinal, llevado a cabo del 13 al 16 de septiembre de **2010** en la Universidad de Lanús. Provincia de Buenos Aires.

En 2011 comenzó un nuevo proyecto de investigación, ***“Cómo promover el aprendizaje significativo de la química; Estudio de los supuestos subyacentes a las concepciones alternativas de los estudiantes de un primer curso universitario”*** dirigido por la doctora Noemí Torres. La autora de esta tesis junto con su grupo de investigación presentó los trabajos:

- **“Demostraciones experimentales de química en el aula: uso de videos en una experiencia piloto para promover el aprendizaje significativo en cursos numerosos”** en las 8ª Jornadas de Material Didáctico y Experiencias innovadoras en Educación Superior, llevadas a cabo del 7 y 8 de agosto de 2012, la ponencia se realizó en el Centro Universitario Regional Paternal. CBC. UBA
- **“Teorías de los alumnos en equilibrio ácido-base”** en la XVI Reunión de Educadores en la Química, llevada a cabo del 4 al 6 de septiembre de 2013, en la Universidad Nacional del Sur-Bahía Blanca - República Argentina
- **“Videos de clases experimentales de química: evaluación del grado de comprensión alcanzado”** en la XVI Reunión de Educadores en la Química, llevada a cabo del 4 al 6 de septiembre de 2013, en la Universidad Nacional del Sur - Bahía Blanca - República Argentina

En este período, la autora y la codirectora de esta tesis publicaron en el marco de este estudio, el artículo: *“¿Por qué las representaciones semióticas pueden ser obstáculos para la comprensión? Un estudio en el tema ácido-base”* en la revista mexicana Educación Química (Callone y Torres, 2013) disponible también en formato electrónico que se puede consultar:

<http://educacionquimica.info/busqueda.php>

A partir de las investigaciones mencionadas, se ha avanzado en la investigación de la dimensión transversal de los obstáculos que dificultan el aprendizaje significativo de algunos conceptos básicos de la química.

En este contexto se puede afirmar que la autora de esta tesis reconoce numerosas **concepciones alternativas** que sostienen los alumnos de química del CBC en el tema ácido-base, obtenidas y evaluadas con variados instrumentos expresados en diferentes registros semióticos (Callone et al., 2006 a, Callone et al., 2006 b). Algunas de ellas son:

- “el ácido fuerte es reconocido como una solución en cuya representación aparecen moléculas de ácido (HA) sin ionizar”
- “la solución de un ácido fuerte es de mayor concentración que la del ácido débil”
- “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”
- “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”

La aplicación de una metodología (Torres et al., 2009 a; Torres et al., 2009 b) permitió validar ciertas hipótesis, en diferentes grados, que dan cuenta de las respuestas erróneas de los alumnos, ahondando de esa manera en sus **teorías de dominio**. Algunas hipótesis validadas son:

- “el ácido fuerte es aquel en cuya molécula existe unión intramolecular fuerte”
- “al establecerse un equilibrio químico habría igual cantidad de reactivos que de productos”
- “la acidez, definida como una medida de la concentración molar de iones hidronio, depende únicamente de la concentración inicial del ácido y no de la fuerza ácida”
- “la disociación se interpreta como desaparición de partículas (los alumnos utilizan el término disociación como sinónimo de ionización)”

Se han encontrado algunos supuestos implícitos de origen:

- **epistemológico** como lo son: la asociación de conceptos por semejanza o igualdad en su terminología, la reducción funcional, como resultado de una forma de pensar simplificada del alumno durante la construcción del conocimiento científico. (Furió et al., 2000) y el pensamiento analógico
- **ontológico** (Alí et al., 2012) como la categorización de los ácidos a nivel sub-microscópico como objetos y no como sistemas en interacción
- **conceptual** como el desconocimiento de los conceptos de disociación y dilución

Se han encontrado además indicadores de que los alumnos tienen problemas al momento de **interpretar representaciones expresadas en diferentes registros semióticos**. Por ejemplo, la interpretación errónea del lenguaje simbólico, posiblemente originada en los cambios de códigos utilizados en estequiometría con aquellos propios del equilibrio químico, inducida en el proceso de enseñanza. Tal situación conduce a pensar que algunos de aquellos supuestos implícitos, como por ejemplo el mencionado supuesto ontológico, pueden tener su origen en la incorrecta interpretación de representaciones externas expresadas en diferentes registros semióticos.

## Investigaciones recientes referidas a las representaciones externas

Las investigaciones enmarcadas en los aportes teóricos de R. Duval (1999) referidos a los registros semióticos se inician en la última década del siglo XX en el campo de la matemática y se extienden a las ciencias naturales en la primera década del siglo XXI.

### En matemática

Las investigaciones recientes se refieren tanto a las representaciones utilizadas por los docentes como a las utilizadas por los alumnos durante sus aprendizajes. Algunas de ellas se han descrito a continuación.

#### Representaciones externas utilizadas por los docentes de nivel primario.

Varettoni, Marcos y Elichiribehety, Inés (2010) realizaron un estudio exploratorio referido a los registros de representaciones que emplean docentes de Educación Primaria. En este trabajo se adoptó una perspectiva didáctica para analizar resultados acerca de las representaciones externas y marcos de resolución que utilizan docentes de la Educación Primaria cuando resuelven algunos problemas propuestos en sus clases. Se buscó indagar en los procedimientos que realizan, las anticipaciones que proponen y el sentido de los conceptos matemáticos que serían construidos. Los resultados mostraron que **la mayoría de los docentes utilizan los registros de representación simbólicos-aritméticos** para resolver y que en **muy pocos casos pueden conjugar más de un sistema de representación** y utilizar más de un marco.

#### Representaciones externas utilizadas en el aprendizaje de nivel medio.

García, Delma Ospina (2012) estudió las representaciones semióticas en el aprendizaje del concepto de función lineal en el marco de su tesis de maestría en Enseñanza de las Ciencias en la Universidad Autónoma de Manizales. El objetivo de su investigación fue el de **comprender las actividades cognitivas de tratamiento y conversión de las representaciones semióticas** que realizan los estudiantes cuando se enfrentan en la solución de situaciones propias el concepto de función lineal. Basándose en que “el aprendizaje de las funciones se da siempre y cuando se desarrolle la capacidad del estudiante para interpretar y usar cada una de las representaciones del concepto de función. Asimismo la capacidad de traducción de uno a otro indica la comprensión del mismo” Janvier (1995) citado por (Gutiérrez, 2007) y en que “En matemáticas, la adquisición conceptual de un objeto pasa necesariamente a través de la adquisición de una o más representaciones semióticas. Lo mencionan: Chevallard (1991), Duval (1993, 1995), Godino y Batanero (1994). Citado por (D'amore, 2004). De su trabajo se concluye que:

- **El contexto de la situación** influye en los registros de representación y en las transformaciones que utilizan los estudiantes para resolverlas, asimismo el estudiante identifica en la situación las

unidades significantes y las pone en correspondencia en los otros registros, sin embargo el registro privilegiado para esta conversión es el registro gráfico

- Los estudiantes muestran dificultades en la conversión al registro algebraico desde otro registro que no sea el gráfico, esto tiene que ver con la falta de congruencia entre las representaciones semióticas del concepto
- La comprensión de **la actividad cognitiva de conversión** que efectúan los estudiantes en el aprendizaje del concepto de función permitió observar la **comprensión del concepto** de función que exhiben los estudiantes y el tipo de **dificultades** que se pueden presentar con el uso de diferentes registros de representación semióticos
- El análisis de las conversiones realizadas por los estudiantes permitió confirmar que a pesar de que existen múltiples representaciones semióticas propias del concepto matemático función lineal, no todas permiten generar procesos de congruencia con otros tipos de representación semiótica, debido a que la simple conversión de registros de representación sin que existan condiciones de congruencia entre ellos, no garantiza la comprensión del concepto matemático
- Se confirma la teoría de Duval (2004), donde se plantea que mientras más **representaciones semióticas** se involucren en el aprendizaje de un concepto matemático (en este caso el concepto de función lineal) y al interior de estas representaciones y **se faciliten condiciones de congruencia, se alcanza una mejor comprensión**, logrando que el estudiante establezca la diferencia entre la representación semiótica del concepto matemático y el objeto matemático representado, discrimine sus unidades significantes y las ponga en correspondencia con otros registros, ya que el reconocimiento de la invarianza entre estas unidades significantes es el que permite la aprehensión del concepto matemático

**Y recomienda que el concepto de función sea abordado para su enseñanza de la misma forma desde el lenguaje natural, y posteriormente se realice la conversión hacia otros registros de representación (gráfico, tabular, figural, simbólico) ya que la fórmula algebraica, la cual ha sido privilegiada por los docentes al inicio de la enseñanza del concepto, genera una mayor dificultad en la conceptualización del mismo.**

### **Representaciones externas utilizadas en el aprendizaje de nivel universitario.**

Maximiliano De las Fuentes Lara, José Luis Arcos Vega y Carlos Raúl Navarro González (2011) realizan un estudio comparativo sobre la eficiencia de las actividades cognitivas a partir de dos enfoques de enseñanza: tradicional y otro que involucra tecnología de la calculadora para abordar aplicaciones de las ecuaciones diferenciales.

Aplicaron un instrumento de **medición para establecer la eficiencia de dos métodos de enseñanza sobre las actividades cognitivas** que logran los estudiantes alrededor del fenómeno sistema masa-resorte, en un curso de ecuaciones diferenciales en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. La administración del instrumento fue aplicada a un grupo que enfrentó el objeto de aprendizaje con un enfoque de **enseñanza tradicional** y a otro grupo de estudiantes que trabajaron con una estrategia didáctica que incorporaba tecnología de la calculadora graficadora. El diseño de esta **estrategia se basó en la teoría de las representaciones semióticas de Duval**; al incluir la calculadora, la propuesta buscaba entre otras cosas que el estudiante construyera los conceptos matemáticos a partir de la **vinculación de los distintos registros de representación**. Los resultados de la aplicación mostraron de manera significativa, **mayores niveles de eficiencia** en cuanto a las actividades cognitivas de

**representación, tratamiento y conversión** de los distintos registros de representación semiótico para los alumnos que abordaron los conceptos del fenómeno sistema masa-resorte mediante la estrategia didáctica que incorpora la calculadora.

## En ciencias naturales

Maturano y otros (2009) indagaron en la interpretación de los **estudiantes universitarios** de una **imagen** desprovista de su contexto original y en la conversión de los elementos observados en dicha representación al lenguaje escrito. Los resultados de su trabajo mostraron: 1) que algunas **interpretaciones confusas se relacionan con el lenguaje formal** utilizado en el dibujo, por ejemplo: Mg es interpretado como el símbolo del magnesio y con la familiaridad de los alumnos con algunos elementos del dibujo por ejemplo: el tubo de gas es considerado como tubo de oxígeno; 2) que, frente a la imagen propuesta, el proceso de conversión al lenguaje escrito presenta diversas características supeditadas a los conocimientos que poseen los estudiantes sobre el tema.

Estos autores consideran que **favorecer la explicitación del proceso de conversión entre distintos sistemas de representación** contribuye a la enseñanza y al aprendizaje de las Ciencias Naturales.

Por otro lado, los autores entienden que las actividades que implican el análisis de imágenes (Teoría de la doble codificación de Paivio) permiten poner en evidencia algunas concepciones alternativas de los estudiantes, en este caso la falta de diferenciación entre calor y temperatura.

## En química

Lombardi, Giovanna; Caballero, Concesa y Moreira, Marco Antonio (2005) en un estudio de las **representaciones no-textuales** utilizadas en **textos escolares** de química general encontraron que:

- a) se observa una tendencia al uso de los diferentes tipos de representaciones aunque en proporción diferente
- b) en los diferentes tipos de representaciones el autor presenta un contenido, el cual es organizado de una manera particular, para lo que usa diferentes recursos tanto textuales como no textuales: colores, sombras
- c) **la construcción de significados**, particularmente para los novatos, depende del **uso simultáneo de los diferentes tipos de representación**

En la investigación se llevó a cabo un análisis de representaciones no-textuales en el tema equilibrio químico, a partir de una muestra de libros de texto de amplio uso para la enseñanza de la química general.

García García (2005), estudia **las gráficas cartesianas**, un tipo de representación externa en tres contextos diferentes pero relacionados: en los libros de texto de química, la comprensión que tienen los **estudiantes** (de nivel medio, del profesorado y universitarios) de ellas y el uso que hacen de este tipo de

representaciones los **profesores de química**. Entre las conclusiones de su investigación menciona: 1) que las características que presentan los gráficos pueden influir de varias formas en su comprensión, 2) que la formación académica de los estudiantes influye en la comprensión de las gráficas cartesianas de diversas maneras y 3) que las prácticas propuestas por los docentes en el aula y realizadas por los estudiantes pueden influir de diversas formas en la interpretación que hacen estos últimos de las representaciones gráficas cartesianas.

García - Perales (2006) trabajaron con tres grupos de **docentes** de Química del **nivel medio, profesorado y universitario** a los cuáles les administraron un cuestionario referido a los **tipos de representaciones externas y al tratamiento** que realizan con ellas. Los resultados de su estudio muestran que los diagramas y los enunciados son las representaciones más usadas, que las ecuaciones son menos usadas de lo que cabría esperar y que las gráficas cartesianas son las menos usadas en la clase de ciencias. Además el estudio revela que conforme se progresa en el nivel académico crece la preferencia por la utilización de representaciones no gráficas (enunciados y ecuaciones) y decrece la preferencia por representaciones de tipo gráfico (diagramas y gráficos cartesianos).

Debido al carácter reducido de la muestra que estudiaron, los resultados mencionados no son generalizables, pero si pueden dar alguna orientación sobre el uso que hacen los docentes de química de los diferentes tipos de representaciones semióticas.

Lombardi, Giovanna; Caballero, Concesa y Moreira, Marco Antonio (2009) consideran que el estudio de los sistemas de representaciones externas utilizadas para construir el lenguaje, en un campo disciplinar, proporciona la oportunidad de examinar, desde la perspectiva semiótica, el quehacer de las aulas de clase. **Centraron su estudio en el análisis de las representaciones pictóricas**, representaciones que constituyen un componente importante en la construcción del discurso científico y que es “opaco” cuando los estudiantes leen un texto con el propósito de aprender. **Pudieron caracterizar tres tipos de representaciones pictóricas** de amplio uso en el lenguaje científico: los gráficos cartesianos, las tablas y los diagramas de estructura. A tal efecto, realizaron una investigación **documental**. Además estudiaron las habilidades de los estudiantes para “leer” un tipo particular de representaciones pictóricas, para lo cual analizaron las respuestas de dos grupos diferentes de **estudiantes pre-universitarios** a una pregunta en la que un componente importante de la información estaba dado en forma gráfica. En esta oportunidad **se evidenciaron las dificultades de los estudiantes para atribuir los significados** compartidos por la comunidad de químicos. Estos resultados confirmaron la necesidad de alfabetizar en cuanto a la lectura de las representaciones pictóricas, proceso que no debiera ser considerado como trivial.

## En el dominio equilibrio ácido-base

Callone y otros (2008), en el trabajo *“Representaciones icónicas en equilibrio ácido-base como instrumento para detectar dificultades en el aprendizaje*, con el objeto de indagar en los obstáculos en el aprendizaje de equilibrio ácido-base, utilizan un instrumento que solicita a los alumnos universitarios realizar mediante dibujos (**formación de representaciones gráficas**), la representación sub-microscópica de dos ácidos, fuerte y débil, de igual concentración molar. El mismo test aplicado a docentes del curso permitió establecer vínculos entre las representaciones externas de expertos y novatos. Las

representaciones de los alumnos fueron tratadas de manera que:

- se pudieron **categorizar modelos conceptuales** explicativos de conceptos relacionados con el tema en cuestión
- permitieron **identificar errores** conceptuales y omisiones

Alí y otros (2012), en el trabajo *“Abordaje multiestratégico utilizado para indagar en los procesos de razonamiento de los alumnos en equilibrio ácido-base”*, se propusieron encontrar respuesta a los siguientes interrogantes: ¿en qué medida pueden las representaciones icónicas de partículas ayudar al alumno a construir modelos mentales adecuados, sin convertirse por sí mismas en obstáculos adicionales para su aprendizaje? y ¿es el diseño de los instrumentos de investigación utilizados adecuado para interpretar correctamente las dificultades de aprendizaje de los alumnos?

La investigación se llevó a cabo con la aplicación sucesiva de tres instrumentos referidos al tema ácido-base de distintas características semióticas, los cuales fueron administrados a diferentes cohortes de alumnos de un primer curso universitario, luego de haber recibido alguna instrucción en el tema.

- La **metodología utilizada permitió**: a) obtener un espectro más amplio de los **razonamientos de los alumnos** a través de las opciones múltiples suministradas, b) verificar las hipótesis previas acerca del **origen de los errores** de los alumnos, c) **validar las categorías explicativas** de los alumnos con respecto al origen de algunos errores, d) ampliar las categorías explicativas de los alumnos utilizando la posibilidad de otra opción no pautada en el listado de las opciones múltiples
- La utilización de **representaciones icónicas** ha demostrado ser de utilidad para indagar acerca de los **modelos conceptuales** utilizados por los alumnos

Callone y Torres (2013), en el trabajo *“¿Por qué las representaciones semióticas pueden ser obstáculos para la comprensión? Un estudio en el tema ácido-base”*, indagaron en la **interpretación** que realizan alumnos de un primer curso universitario de química, de una misma situación en el tema ácido-base expresada mediante diferentes representaciones semióticas.

El análisis realizado permitió:

- **estimar la comprensión de los alumnos acerca de la situación planteada**. Según Duval (1999), una condición necesaria para la comprensión es que los sujetos puedan convertir una representación de un registro semiótico en otro, pero en este trabajo se advirtió que no es suficiente
- **hacer explícitas algunas regularidades conceptuales erróneas** que sostienen los estudiantes
- reconocer **algunos supuestos implícitos** de origen epistemológico y ontológico subyacentes a las respuestas dadas al test administrado

## Capítulo 3: Marco teórico

---

## Modelos mentales - Teorías de dominio - Teorías implícitas

El concepto de **modelo mental** (Johnson-Laird, 1983) es particularmente útil para entender que los alumnos puedan dar diferentes explicaciones a un mismo hecho, o bien dar la misma explicación pero por motivos diferentes. Las personas tienden a organizar sus experiencias y observaciones relativas a un tópico en particular como modelos mentales que no pueden ser directamente observados y medidos. Estos consisten en proposiciones, imágenes, normas de procedimiento y declaraciones acerca de cuándo y cómo se deben usar, pueden contener elementos contradictorios, pueden ser incompletos; sus elementos no tienen límites firmes, es decir, elementos similares pueden confundirse entre sí; los modelos mentales tienden a minimizar el gasto de energía mental (Redish, 1994). Los modelos mentales incluyen datos procedentes del exterior, conocimientos previos y expectativas del sujeto, entre otros, dando lugar a representaciones dinámicas en la memoria de trabajo (Perales y Jiménez, 2002:371).

En el marco de las teorías sobre la construcción del conocimiento científico desde al conocimiento cotidiano (Pozo Municio y Gomez Crespo, 1998, Vosniadou, 1994), conviene diferenciar entre los diversos **niveles de análisis representacional**: en un nivel más superficial se hallarían las representaciones activadas para una situación específica que se construyen, en muchos casos, en respuesta a demandas contextuales que en cierto sentido responderían a los rasgos representacionales de los **modelos mentales** (Rodrigo, 1997); un segundo nivel corresponde a las **teorías de dominio** constituidas por el conjunto de representaciones de diverso tipo, activadas por los sujetos ante contextos pertenecientes a un dominio dado, vendrían a proporcionar los rasgos invariantes de los modelos mentales activados en diferentes contextos dentro de un mismo ámbito de conocimiento y en un nivel menos accesible aún, se hablaría de **teorías implícitas** (Pozo Municio y Gómez Crespo, 1998:103) o una **teoría-marco** (Vosniadou, 1994), entendidas como **supuestos implícitos** de carácter más general que las teorías de dominio. Estos supuestos son de carácter **epistemológico** (Vosniadou, 1994), **ontológico** (Chi, M. et al., 1994) y **conceptual** (Pozo Municio y Gomez Crespo, 1998) a partir de la cual se organizarían las teorías de dominio.

El logro de un aprendizaje significativo, entendido como la comprensión de conceptos científicos, requiere de los alumnos una **reestructuración conceptual**, que trataría de conectar las teorías de dominio con las científicas mediante **procesos metacognitivos**, convirtiendo en objeto de reflexión las diferencias entre ambas teorías, de forma que puedan ser integradas como diferentes niveles de análisis o complejidad de un problema (Hipótesis de la **Integración jerárquica**, Pozo Municio y Gomez Crespo 1998: 140).

A menudo los obstáculos se designan y se trabajan de una manera local; sin embargo Peterfalvi (2003:132-134) sugiere que en ese caso se trata de manifestaciones del obstáculo, más que del obstáculo mismo que abarcaría modos de pensamiento mucho más transversales. 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.

## El concepto de representación

Según Bruner (1984: 122-123), la representación o un sistema de representación, es un conjunto de reglas mediante las cuales se puede conservar aquello experimentado en diferentes acontecimientos. En cierto sentido, es algo así como un "medium". Podemos representar algunos sucesos por las acciones que

requieren (representación enactiva), mediante una imagen (representación icónica), mediante palabras o con otros símbolos (representación simbólica). La representación del mundo o de alguna parte de nuestra experiencia, posee determinadas características: la representación de un suceso es siempre selectiva. En la construcción del modelo de algo no se incluye todo aquello que tiene que ver con él. El principio de selectividad suele estar determinado por el propio objetivo de la representación, es decir, aquello que nos proponemos hacer al representar algo. Las representaciones, debido a su naturaleza sintética, han de estar reguladas porque cada representación no es una muestra arbitraria o aleatoria de lo representado. Es decir, la representación de un suceso que se extiende espacialmente utiliza una notación especial, que es común para un conjunto más amplio de sucesos con la misma característica espacial. Gran parte del aprendizaje espontáneo consiste en inducir reglas más generales para obtener formas más económicas o más eficaces de representar sucesos semejantes. Y en muchas ocasiones este aprendizaje consiste en traducir un modo de representación a otro. Es decir, no sólo somos capaces de seguir el mismo camino habitualmente, sino que nos lo podemos representar mediante una imagen mental.

Los tres sistemas de representación: enactiva, icónica y simbólica, operan durante el desarrollo de la inteligencia humana y su interacción es crucial para éste.

Según Bruner (1997: 173-174) el modo de representación enactiva, al que posteriormente re-denominara “modo procedimental” presenta la características de estar organizado secuencialmente y de ser irreversible.

La imagen puede proporcionar también un esquema para organizar secuencialmente las acciones. La imagen es una analogía muy estilizada, selectiva y simultánea de un proceso experimentado.\* Sin embargo, su manera de referirse a los objetos no es tan arbitraria como lo es en el caso de las palabras. Se puede reconocer la imagen de un suceso una vez que lo hemos experimentado pero, sin embargo, podemos no conocer la palabra que designa a un suceso por el hecho de haberlo experimentado. La significación lingüística es fundamentalmente arbitraria y depende del dominio del código simbólico. Por tanto para hacer una descripción lingüística es necesario conocer, no sólo los referentes de las palabras, sino también las reglas de construcción y transformación de las emisiones. Estas reglas son específicas del lenguaje, como también son específicas las reglas de formación de imágenes o de formación de hábitos.

\* Posteriormente, Bruner (1997, p.174-177) añade que las imágenes no sólo capturan la particularidad de los acontecimientos y los objetos, también dan a luz y sirven como prototipos para las “clases” de acontecimientos, y luego aportan límites frente a los cuales se pueden comparar casos que sean candidatos a miembros de esas clases. Y así, en edad muy temprana, antes de que el pensamiento llegue a hacerse operacional en el sentido de Ginebra, nuestro poder para considerar el mundo en término de imágenes típicas y similitudes nos ofrece una especie de estructura preconceptual a través de la cual podemos operar en el mundo.

Según lo presentado en Moreira (2002), las representaciones mentales pueden ser analógicas o proposicionales.

**Analógicas:** La **imagen visual** es la representación analógica prototípica, pero hay otras como las **auditivas, olfativas o táctiles**. El perfume de una rosa puede ser evocado a través de una imagen olfativa, lo que significaría que estaría internamente representado por una imagen olfativa también en nuestras mentes. Las imágenes son representaciones mentales concretas, formas de “ver” las cosas, los

fenómenos, a las que se recurre para recuperar y captar su esencia, cuanto menos, los detalles que han resultado relevantes al individuo que las construye.

**Proposicionales:** Las representaciones proposicionales son “**tipo-lenguaje**”, pero un lenguaje de la mente, no consciente, que se podría llamar “mentalés”; no son frases en un cierto idioma. Independientemente del lenguaje estarían expresadas en un “código de máquina” propio de la mente. Este “mentalés” sería el equivalente de las cadenas de unos y ceros, relacionados por las reglas del álgebra booleana que constituyen el código de máquina de nuestros ordenadores. Las representaciones mentales proposicionales son **discretas** (individuales), **organizadas por reglas de combinación** (las reglas del mentalés) y **abstractas**; una proposición admite más de una representación posible (una frase, un principio, un discurso se representa de diferentes maneras en distintas personas) y ello, lógicamente, tiene consecuencias en la enseñanza.

**Teorías sobre la cognición** (darían cuenta de las maneras en las que las personas razonan, hacen inferencias, comprenden lo que los otros hablan y entienden el mundo).

**Pylyshyn, 1973. La cognición debe ser analizada exclusivamente en términos de proposiciones.** A pesar de esta distinción, existe una polémica en la literatura respecto a si es cierta o no. Para unos (e.g., Pylyshyn, 1973), la cognición debe ser analizada exclusivamente en términos de proposiciones y no hay necesidad de considerar las imágenes como un tipo especial de representación mental: todo aquello con lo cual nuestra mente se maneja para pensar, comprender, explicar, recordar, puede ser traducido en el código del lenguaje de la mente. Es decir, las imágenes también serían procesadas en el “mentalés”.

#### **Paivio, 1971. Teoría de la doble codificación.**

Para otros (e.g., Paivio, 1971), las imágenes tienen identidad, son un tipo separado de representación interna; tanto es así que se pueden trasladar y rotar mentalmente. Para éstos, la cognición no puede ser reducida al mentalés, sino que postulan que existen otras clases de informaciones, como las relacionadas con cuestiones geométricas, que necesariamente deberían ser procesadas en otro formato.

#### **Johnson-Laird, 1983 y 1996. Modelos Mentales**

Johnson-Laird propone una tercera alternativa, una tercera forma de constructo representacional: los *modelos mentales*. Este autor postuló en un principio al menos tres tipos de representaciones mentales: **representaciones proposicionales** (cadenas de símbolos), **modelos mentales** (análogos estructurales del mundo) e **imágenes** (*Las imágenes representan cómo algunas cosas son vistas desde un punto de vista particular*), todas ellas necesarias para poder explicar las maneras en las que las personas razonan, hacen inferencias, comprenden lo que los otros hablan y entienden el mundo. (2002, pág 4)

#### **Relación entre modelos mentales y comprensión de los fenómenos naturales.**

Entender cualquier fenómeno natural es saber su causa, poder describir sus consecuencias y predecir sus efectos, de forma que el individuo pueda provocarlo, influenciarlo o evitarlo, o, por lo menos, explicarlo. Es decir, tener un modelo mental de ese fenómeno, un modelo de trabajo en nuestras mentes que pueda ser mentalmente manipulado, permitiéndonos hacer inferencias. Explicar y predecir acerca de los

fenómenos naturales es comprenderlos y ello requiere la construcción de modelos mentales que actúen como análogos estructurales de ellos, como intermediarios a la luz de los cuales adquieran significado los conceptos científicos y las relaciones que se establecen entre ellos para adquirir esa comprensión. (Moreira et al., 2002, pág 9).

### **Modelos conceptuales.**

Según Moreira y otros (2002), los modelos conceptuales son representaciones externas compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. Ellos son considerados como aquellos inventados, diseñados, por investigadores, ingenieros, arquitectos, profesores para facilitar la comprensión o enseñanza de sistemas físicos, o estados de cosas físicas, objetos o fenómenos físicos. Son proyectados como herramientas para el entendimiento y/o para la enseñanza de sistemas físicos. Los modelos conceptuales son representaciones externas, compartidas por una determinada comunidad y consistentes con el conocimiento científico que esa comunidad posee. Estas representaciones externas pueden materializarse en forma de formulaciones matemáticas, verbales o pictóricas, de analogías o de artefactos materiales. Independientemente de la forma que puedan adquirir los modelos conceptuales de disciplinas como la Física (por ejemplo, un conjunto de fórmulas matemáticas y de leyes empíricas), la Química (por ejemplo, una serie de ecuaciones químicas y de estructuras geométricas) o la Biología (por ejemplo en la Genética, un conjunto de leyes probabilísticas). Todos ellos tienen en común que son representaciones simplificadas e idealizadas de objetos, fenómenos o situaciones reales, pero son precisos, completos y consistentes con el conocimiento científicamente aceptado (Greca y Moreira, 1997a).

Un ejemplo de la utilización de un mismo modelo conceptual, pero que puede estar basado en distintos modelos mentales dependiendo de los individuos, fue encontrado por Greca y Moreira (1996). En entrevistas hechas con físicos en actividad, encontraron que éstos utilizan distintos modelos mentales a la hora de comprender fenómenos relacionados con el campo electromagnético, pensándolo como deformación geométrica, como un “gas con flechitas” o a partir de elementos generadores (cargas y dipolos magnéticos). Estos modelos les eran heurísticamente válidos para comprender el campo electromagnético, aunque después utilizaran el modelo conceptual científicamente compartido (las ecuaciones de Maxwell) cuando lo necesitaran para formalizar y presentar resultados de sus investigaciones, así como para enseñar. En rigor, habría que distinguir también entre modelo físico y modelo conceptual, en el sentido de que éste sería una especie de “versión didáctica” de aquél (Greca y Moreira, 2002a).

Según Galagovsky y otros (2009: 1) “... se propone que un modelo mental es un grupo de ideas armonizadas en la mente del experto; mientras que el modelo explícito es una porción del discurso erudito expresada complementariamente en diferentes lenguajes científicos”. ..“Los modelos explícitos son informaciones creadas por expertos, provienen de sus modelos mentales explicativos, y son parte del conjunto de los recursos didácticos. Los modelos explícitos requieren ser expresados en varios lenguajes. Es decir, se marca una diferencia fundamental entre “modelo mental” y “modelo explícito”; y se define a este último como una porción compleja de discurso erudito que es expresada complementariamente en diferentes lenguajes científicos. Cualquier dibujo, maqueta, etc., es una representación concreta, y por lo tanto, tan sólo es un aporte comunicacional más para la descripción del modelo explícito.”(2009: 17)

## De las representaciones externas a los modelos conceptuales.

Algunas consideraciones e hipótesis de esta tesis.

En esta tesis se denomina como **modelos conceptuales** a todas las representaciones externas tanto formuladas por alumnos como por docentes en la medida en que muestren relaciones o vinculaciones entre conceptos, y se reserva la terminología de modelo científico para aquellas representaciones externas construidas por los científicos; lo que en términos de Galagovsky y otros (2009) es el modelo explícito.

Mientras que los modelos conceptuales son representaciones externas, los modelos mentales son representaciones internas. Se desconoce la relación que pudiera existir entre ambos tipos de representación, sin embargo se piensa que las representaciones externas pueden ser buenos indicadores de las relaciones conceptuales que operan en la mente de las personas. Por lo tanto se infiere comprensión y se reconocen errores a partir de los modelos conceptuales que presentan los alumnos a través de sus representaciones externas formuladas para una situación dada.

### R-1 Tipos de representaciones

De acuerdo con el ámbito en el cual se presenten las representaciones, éstas pueden ser clasificadas en dos grandes grupos. El primer grupo está conformado por las representaciones cuyo ámbito está constituido en la mente de los individuos. Al segundo grupo, diferente del primero, pertenecen las representaciones que pueden encontrarse fuera del individuo y que pueden entrar en interacción con él. Duval (1999) clasifica las representaciones en internas y externas. Las representaciones externas son “observables” y pueden ser expuestas públicamente mientras que las representaciones internas no pueden ser observadas públicamente. Para Duval, las representaciones externas son generadas a través de un sistema de signos, es decir, son representaciones semióticas que, según él, pueden ser interpretadas por todos los individuos capaces de interpretar este sistema de signos.

Las representaciones externas permiten observar el objeto a través de la percepción de un conjunto de estímulos (puntos, trazos, caracteres, sonidos) que poseen el valor de significantes (figuras, esquemas, expresiones simbólicas, lingüísticas, gráficos, etc.). Duval clasifica las representaciones externas en analógicas y no analógicas. Mientras que las primeras presentan elementos que conservan las relaciones de vecindad existentes entre los elementos del modelo, por ejemplo las imágenes, las segundas, no conservan ninguna relación incluida en el modelo original representado, por ejemplo la lengua natural.

Según Duval no existe correspondencia estricta entre las representaciones mentales y las representaciones semióticas. Para justificar su afirmación expone varias razones:

En primer lugar, para este autor las representaciones semióticas no son dependientes de las de tipo mental sino al revés. Es decir, el desarrollo de las representaciones mentales requiere de la adquisición e interiorización de diferentes sistemas de representación semiótica, en particular del lenguaje natural (Vigotsky, 1979). En segundo lugar, las representaciones mentales son diferentes de las semióticas, que se generan para expresarlas. En tercer lugar, las representaciones semióticas, al ser expresadas, pueden comunicar diversos contenidos al mismo tiempo, mientras que las de carácter mental sólo pueden referirse a un contenido único.

## R-2 Clases de representaciones externas

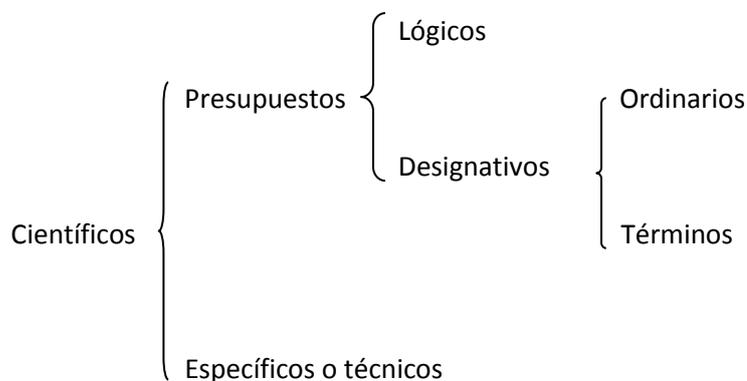
García García (2005) comenta que según Martí y Pozo, las representaciones externas pueden ser no permanentes y permanentes. Las primeras pueden ser captadas en forma directa por la percepción pero pueden no ser conservadas. A este tipo de representaciones pertenecen los mensajes enunciados oralmente (no grabados) y aquellos transmitidos en el lenguaje de los signos.

Las representaciones externas permanentes pueden ser conservadas a través de la utilización de un soporte como el papel, las cintas o discos magnetofónicos. A este tipo de representaciones pertenecen los diferentes sistemas de escritura, dibujos, mapas, fotos, sistemas de representación matemática, química, entre otros.

Galagovsky y Aduriz Bravo (2001) clasifican a las representaciones utilizadas en el campo de las ciencias en dos grandes grupos, representaciones científicas y representaciones concretas. Las **representaciones científicas** son imágenes visuales obtenidas por alguna medición instrumental. Son ejemplos de este tipo los espectros de cualquier tipo, microfotografías, electrocardiogramas, ecografías, foto satelital, entre otras. Las **representaciones concretas** son representaciones visuales de ciertas imágenes asociadas a algún modelo científico, pueden ser dibujos, proyecciones bidimensionales u objetos tridimensionales.

### R-2-1 Representaciones simbólicas

#### R-2-1-1- Lingüísticas: ordinarias y específicas



Este tipo de lenguaje mediante el que se construyen afirmaciones o enunciados científicos consiste en un vocabulario en el que se encuentran palabras, o combinaciones de palabras, a las que llamaremos **términos (Klimovsky 1995)**. Denominaremos términos a las palabras o expresiones cuya misión es aludir a entidades o, por lo menos, permitirnos construir afirmaciones o enunciados científicos.

Los términos pueden ser presupuestos o específicos. Los **presupuestos** son aquellos que provienen del lenguaje ordinario, o bien de una disciplina o teoría ya admitida y empleada por el científico. En los textos usuales, la mayoría de los términos pertenecen a esta categoría. Su uso ya se conoce y, si se quiere hablar de sentido y significado, éstos han quedado establecidos antes de que se iniciara la investigación.

Los términos **específicos o técnicos** son aquellos introducidos por una teoría, o bien pueden ser ya existentes, pero a los cuales se los ha privado del significado primigenio y se les ha dado,

convencionalmente, un significado nuevo. *“Esto ocurre, por ejemplo, cuando en la teoría atómica y en la mecánica cuántica aparecen palabras como spin...”*.

Es importante saber de dónde se toman y con qué sentido se emplean los términos presupuestos. Podría creerse en primera instancia, que si un término es utilizado como presupuesto, por el solo hecho de que ya había sido usado previamente, queda determinado su significado. Si el término es recogido del lenguaje ordinario, aparte de cuestiones de vaguedad, se presenta el fenómeno de polisemia, por lo tanto, conviene explicitar el sentido que se está adoptando en la discusión. Por otro lado, si el término se toma de una teoría anterior, conviene indicar con mucha precisión de qué teoría se lo ha extraído. Pues hay que tener presente que el mismo término puede denotar significados distintos en distintas teorías, como también pudo haber cambiado su significado muchas veces a lo largo de la historia (es lo que se entiende por variación radical del significado).

Respecto de los términos presupuestos puede ser útil diferenciarlos en lógicos y designativos.

Los términos presupuestos **lógicos** cumplen con la función sintáctica del lenguaje, son los que ayudan a formar la frase, y en cierto modo a comprender con qué alcance e intención informativa se emplea el enunciado. Hay muchas especies de palabras lógicas. Por ejemplo se distinguen los **conectivos**: *y, o, si...entonces, si y solo si*; los **cuantificadores**: *todos, algunos, ninguno*; la palabra *es* permite construir **predicaciones**; y muchas otras más.

Los términos presupuestos **designativos o referenciales** sirven para aludir a algún tipo de entidad: un objeto, una propiedad, una cualidad, una relación, una operación matemática. Cumplen con la función semántica del lenguaje pues se relacionan elementos lingüísticos con extra-lingüísticos. Pueden ser ordinarios o científicos.

Algunos términos presupuestos designativos provienen del lenguaje **ordinario**. Estos plantean el problema de cuál es su exacta referencia porque pueden estar contaminados con cierta vaguedad intrínseca pues quizá no tengan un significado exacto.

Los términos presupuestos designativos **científicos** son aquellos extraídos de una disciplina o teoría científica. Como ya se indicó, hay que prestar especial atención a cuál es la teoría de que se extrajo, y en qué momento histórico.

Los términos específicos no siempre se tratan de palabras nuevas, pero sí introducen una nueva significación. Se presenta aquí el problema acerca de los procedimientos lógicos que garantizan que el vocabulario específico técnico posea significado. *“Podríamos requerir que se los definiera, pero no sabemos todavía si la definición es un tipo único de operación o hay varias maneras de definir. Tampoco sabemos si es posible o no que a veces, como suelen decir ciertos epistemólogos y también los estructuralistas, el sentido de un término se adquiere contextualmente por su empleo en el marco de una teoría científica”*.

### **R-2-1-2 Formales específicas:**

**Simbólico específico** consiste en símbolos, fórmulas y ecuaciones químicas entre otras.

**Lógico-matemático** consiste en fórmulas y desarrollos matemáticos.

## R-2-2 Representaciones gráficas

Imágenes y Esquemas gráficos (Costa y Moles 1991:38-46)

**Imágenes** propiamente dichas son aquellas que representan o vuelven a hacer presentes a los ojos y a la memoria las cosas que han sido vistas o que son potencialmente visibles en la realidad. Pertenecen a este grupo las ilustraciones realistas, la fotografía, el cine y el video. Este tipo de lenguaje es el de la reproductividad icónica: las imágenes propiamente dichas (eikon, concepción platónica de correspondencia, ilusión especular, etc.), procedimientos de la representación visual que están sujetos al mundo de la retina, de la óptica, de la percepción ocular, ya sea directa (lo que llamamos “realidad”) o por medio de prótesis (instrumentos como el microscopio electrónico o el telescopio) o indirecta.

***A este grupo corresponden las representaciones del nivel macroscópico de la materia y sus cambios.***

**Esquemas gráficos** son aquellos que visualizan o convierten en visibles cosas invisibles, para hacerlas imaginables y comprensibles. Pertenecen a este grupo los gráficos, esquemas, organigramas, etc. La aptitud de este modo de expresión es especialmente apropiada para la transmisión de conocimientos propiamente dicha, ya que por su mediación se visualizan conceptos, ideas, situaciones, relaciones, procesos, transformaciones, evoluciones, desplazamientos, estructuras y otros fenómenos multidimensionales del mundo físico. Este tipo de lenguaje es el de la presentación de conocimientos: los esquemas gráficos, que proceden de esquematizaciones, y cálculos mentales, abstracciones (imago), cuya función es hacer imaginable una realidad, es decir concebible, comprensible y manipulable por la imaginación. Tiene una cualidad didáctica específica: la de hacer visibles cosas que por naturaleza no lo son y por consiguiente hacerlas imaginables y comprensibles.

***A este grupo corresponden las representaciones del nivel sub-microscópico (molecular) de la materia y sus cambios.***

Según Perales y Jiménez (2002), las imágenes pueden ser figurativas y no figurativas. Las imágenes figurativas tienen como finalidad la percepción del contenido imitando a la realidad, suponen del lector la atención y conocimiento de los códigos del dibujo realista. Las imágenes no figurativas tienen por objetivo facilitar la comprensión usando argumentos visuales que se alejan de la imitación de lo real. Este tipo de imagen requiere del lector mayor esfuerzo para interpretar las intenciones del autor.

## R-3 Las representaciones semióticas y la construcción de las representaciones mentales

Duval (1999) afirma que no es posible acceder a los objetos matemáticos, que son abstractos y por lo tanto no accesibles por la percepción ni manipulables como un objeto físico, fuera de un sistema semiótico. En este punto radica la diferencia fundamental entre la Matemática y otras ciencias. Para Duval es fundamental el rol que juegan los signos o, más precisamente, los registros semióticos de representación, en la actividad matemática. Dentro de dichos registros tienen lugar las representaciones semióticas, es decir, producciones construidas por el empleo de signos que pertenecen a un sistema de representación. Las representaciones semióticas no sólo son indispensables para la designación de los objetos matemáticos o la comunicación, sino para el trabajo con dichos objetos, es decir que son

esenciales para la actividad cognitiva del pensamiento. Ningún tipo de proceso matemático puede ser ejecutado sin usar un sistema semiótico de representación.

La importancia de las representaciones semióticas y sus transformaciones en el aprendizaje de las Matemática radica en que los procesos matemáticos siempre implican sustituir una representación semiótica por otra.

*“Si se llama semiosis a la aprehensión o a la producción de una representación semiótica, y noesis a la aprehensión conceptual de un objeto, es necesario afirmar que la noesis es inseparable de la semiosis”* (Duval, 1999). Es decir que 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 semiosis es, por tanto, considerada como característica necesaria para garantizar un primer paso hacia la noesis.

García García (2005) comenta que según Duval, la **comprensión** de un tema implica tres actividades cognitivas: la formación, el tratamiento y la conversión de las representaciones.

- Formación de representaciones semióticas

Formar una representación semiótica es seleccionar un conjunto de caracteres o de signos dentro de un sistema semiótico de acuerdo con las posibilidades de representación propia de ese registro, para que representen las características principales del objeto. Formamos representaciones semióticas cuando se asignan nombres a los objetos, se generan imágenes esquemáticas sobre ellos, o se codifican relaciones o propiedades pertinentes a una transformación en dichos objetos.

- Tratamiento de las representaciones semióticas

Consiste en la transformación de una representación en otra, que está construida utilizando el mismo sistema semiótico. Este cambio es llamado también transformación interna. Por ejemplo, la paráfrasis a través de la cual se transforma una expresión lingüística en otra. Al realizar un tratamiento sobre una representación semiótica se aplican sobre ella reglas de expansión. La nueva representación será una representación expandida informacionalmente y si bien está construida en el mismo registro que la representación de partida, provee nuevas posibilidades creativas.

- Conversión de las representaciones

Consiste en la transformación de una representación en otra, que está expresada en un sistema semiótico diferente. Este cambio es llamado también transformación externa. Son operaciones de conversión la traducción, la ilustración, la interpretación, la codificación, etc. Cuando se convierte un contenido lingüístico en una figura, se lleva a cabo una ilustración. Cuando se representa una imagen a través de un texto, se realiza una descripción o una interpretación. Al representar el enunciado de un problema a través de un conjunto de ecuaciones se pasa del lenguaje natural al registro algebraico o formal de la escritura simbólica. Es importante notar que la representación obtenida por conversión no suele incluir todo el contenido que incluía la representación de partida.

El proceso de conversión puede ocurrir con congruencia o con incongruencia de representaciones. El caso de congruencia, ocurre cuando existe correspondencia entre las unidades elementales que conforman cada registro semiótico en los que se expresan las representaciones inicial y final. Las condiciones para la

correspondencia son tres: 1) las unidades elementales que conforman cada registro semiótico deben tener un único significado, 2) debe existir una relación unívoca (uno a uno) entre ellas y 3) deben ser aprehendidas en el mismo orden. Cuando esto no ocurre, este tipo de conversión requiere mayor tiempo para llevarse a cabo y por lo tanto un mayor costo cognitivo. Se trata del caso de incongruencia de las representaciones. En este último caso es necesario que el individuo conozca la formación y el tratamiento de las representaciones específicas para cada uno de los registros semióticos involucrados en la conversión.

Duval afirma que lo que hace atractiva la conversión de representaciones es la posibilidad de realizar tratamientos nuevos en un registro diferente al utilizado por la representación inicial.

Por otro lado, sostiene que la incongruencia entre las representaciones puede generar fracasos en la conversión, que pueden persistir aun después de haber realizado aprendizajes en los cuales se requirieron conversiones entre representaciones construidas con diferentes registros semióticos.

Además, aunque se incluyan en las sesiones de enseñanza diferentes tipos de sistemas semióticos, la conversión de representaciones plantea grandes dificultades a los alumnos. Dichas dificultades son independientes de la complejidad presentada por los conceptos a los cuales se refieren las representaciones.

La dificultad para la conversión radica en la necesidad de discriminar las unidades significantes pertenecientes a cada uno de los sistemas semióticos en los cuales se expresan las representaciones para poder articularlos después. Estas unidades pueden ser de carácter discreto, como en el caso del lenguaje formal, o presentarse de forma integrada, como en los gráficos cartesianos. La dificultad también es generada porque estas unidades no siempre presentan la misma función. Por ello los estudiantes antes de proceder a convertir una representación deben aprender a discriminar de manera específica cada una de las unidades que conforman el registro semiótico en el cual se expresan las representaciones que quieren convertir.

#### **R-4 Representaciones semióticas en la enseñanza de conceptos**

Según Astolfi (2001: 29-37), un concepto se interpreta como un conjunto de elementos que poseen los mismos atributos. En un concepto se pueden distinguir tres dimensiones:

- 1) Etiqueta: palabra que designa un pensamiento abstracto (significante)
- 2) Atributos: definición comprensiva (significado)
- 3) Ejemplos: definición extensiva (referente)

En el plano didáctico, estas tres dimensiones del concepto no siempre están presentes simultáneamente. Es frecuente que los alumnos conozcan el vocabulario específico sin haber asimilado las ideas que ese vocabulario representa. Incluso no siempre están en condiciones de disociar el ejemplo del concepto, porque la enseñanza de las ciencias selecciona a menudo un pequeño número de ejemplos particularmente escogidos, que se consideran adecuados para la adquisición del concepto, ejemplos que con frecuencia se denominan “paradigmáticos”. De los que no siempre logran desprenderse los alumnos.

Para Duval, (1999), la diversidad de las representaciones semióticas (externas) de un mismo objeto aumenta la comprensión conceptual de los sujetos, pues la comprensión conceptual aparece ligada al descubrimiento de una invarianza entre representaciones semióticas heterogéneas.

Con respecto a esto, García García (2005) comenta que Seufert afirma que la utilización de representaciones que usan diferentes registros semióticos puede ofrecer muchas posibilidades para mejorar el aprendizaje de los estudiantes y que su uso simultáneo tiene un efecto sinérgico y favorece la construcción de modelos mentales coherentes por parte del alumnado. Por otra parte, diferentes registros semióticos presentan diferentes posibilidades y limitaciones para el tratamiento y la comunicación de la información; siendo algunos de ellos más convenientes que otros. Por ejemplo, el registro semiótico analógico (figuras, esquemas, diagramas) es de mayor eficiencia que los registros semióticos simbólicos (enunciados, fórmulas) cuando se enfrentan problemas físicos o geométricos.

También García García (2005) muestra que por otro lado, varios estudios indican que los estudiantes tienen dificultades cuando deben tratar con múltiples representaciones y hacer conexiones entre ellas. Parece que los estudiantes no comprenden la naturaleza mediática y metafórica de las correspondencias y simplificaciones usadas en las representaciones. Según Galagovsky y Aduriz Bravo, se concentran en las características superficiales de las representaciones desconocidas y además no son capaces de identificar sus elementos conceptuales relevantes. Según Lowe, se centran en una única representación (frecuentemente la más familiar y concreta según Seufert) y sólo realizan conexiones entre representaciones, cuando se enfrentan a procesos de resolución de problemas con el fin de entender las representaciones usadas en él.

Según Duval (1999), la enseñanza privilegia el aprendizaje de las reglas que conciernen a la formación de las representaciones semióticas y las que conciernen a su tratamiento dejando a un lado la conversión.

Cuando esto ocurre o cuando la enseñanza ha estado centrada en la formación y el tratamiento de representaciones semióticas pertenecientes a un único registro, o ha privilegiado un registro semiótico sobre otros, sin incluir la coordinación entre los registros diferentes, los conocimientos aprendidos quedan limitados a un único registro y se generan problemas para la producción de aprendizajes conceptuales. A dicha limitación se la denomina aprendizaje mono registro.

El aprendizaje mono registro lleva a una comprensión limitada de lo aprendido, que puede ser valorada como aprendizaje efectivo al ser evaluada a corto plazo. El problema se presenta cuando los conocimientos supuestamente aprendidos de manera efectiva son requeridos para ser usados en otro contexto diferente a aquel que se utilizó para llevar a cabo el aprendizaje, y que incluye registros semióticos diferentes. Cuando esto sucede el estudiante no puede movilizar estos conocimientos. Es decir, no puede realizar transferencia alguna de los conocimientos aprendidos.

## El error

En los modelos constructivistas, los errores son síntomas interesantes de los obstáculos con los que se enfrenta el pensamiento de los alumnos (Astolfi 1999). Astolfi realiza una tipología de los errores de los alumnos. En ella se presentan ocho categorías, teniendo en cuenta el origen de los errores:

- 1) Errores debidos a la redacción y comprensión de las instrucciones
- 2) Errores como resultado de los hábitos escolares o de una mala interpretación de las expectativas
- 3) Errores como resultado de las concepciones alternativas de los alumnos
- 4) Errores ligados a las operaciones intelectuales implicadas
- 5) Errores en los procesos adoptados
- 6) Errores debidos a la sobrecarga cognitiva en la actividad
- 7) Errores que tienen su origen en otra disciplina
- 8) Errores causados por la complejidad propia del contenido

Los errores de la primera categoría están estrechamente vinculados con el lenguaje verbal.

Con respecto a la tercera categoría, debido a las concepciones alternativas de los alumnos, muchos autores consideran que algunos de ellos tienen origen en la enseñanza. Algunos autores sostienen que estos conocimientos son originados espontáneamente a partir de la interacción del sujeto con el mundo, como señala Pozo (1987). Para otros autores la existencia y permanencia de estas concepciones alternativas serían originadas por las formas de razonar (componente epistemológico del pensamiento) y de comportarse (componente metodológica de la acción, de la conducta) mencionado por Furió y otros (2000). Puigcerver y Sanz (en Furió et al. 2000) clasifican las concepciones alternativas según su origen en:

- espontáneas, de carácter intuitivo, concebidas como aquellas ideas interiorizadas a partir de la experiencia física propia cuando se intenta dar significado a las actividades cotidianas
- inducidas, que se derivarían más propiamente del entorno sociocultural de los alumnos y, en particular, del lenguaje de la cultura y “sabiduría popular”, así como de la propia enseñanza (Carrascosa et al. 1996)
- concepciones analógicas, bien espontáneas o inducidas, que se generan cuando el alumno no dispone de ideas acerca de los conceptos científicos tratados e intenta activar ideas analógicas ya existentes, que le permiten comprender los conceptos científicos”

## Errores conceptuales relacionados con las representaciones semióticas utilizadas durante la enseñanza

### I- Con respecto al lenguaje verbal:

#### I-1- Errores debidos a la comprensión de las consignas de trabajo dadas en clase. Astolfi (1999)

El vocabulario empleado en cada una de las disciplinas es fuente de problema para los alumnos. Los verbos de acción que contienen los enunciados de problemas o ejercicios son bastante enigmáticos para los alumnos. Por ejemplo: ¿qué interpretan los alumnos cuando se les solicita, analizar, indicar, explicar, interpretar, concluir...? ¿Qué tienen que hacer exactamente cuando se encuentran con estas instrucciones? Las palabras del lenguaje corriente son utilizadas con sentidos particulares en cada disciplina, y que los alumnos deben “encontrar” para comprender su sentido. También se establecen distancias entre los usos disciplinares de las palabras. Por ejemplo: ¿Qué tienen en común una expresión algebraica, una expresión de un gen y una expresión familiar?

#### I-2- Errores relacionados con los enunciados

Debido a relaciones implícitas. Con respecto a los enunciados gramaticales, Olson (1994) sostiene que hay que explicar las relaciones que se encuentran implícitas en ellos. Nos ofrece un ejemplo muy claro de dos enunciados gramaticalmente idénticos pero con dos significaciones distintas: La caja es liviana porque está vacía y La caja es liviana porque puedo levantarla. El primer caso corresponde a una relación causal, porque podría ser sustituido el término “porque” por “es causado por” y en el segundo caso la relación no es causal porque podría reemplazarse por “lo sé”; “es evidente que”; etc.

Debido a la ausencia de la adquisición del vocabulario específico. En un estudio llevado a cabo por Olson y Astington en 1990, hallaron que sólo los estudiantes de los más altos niveles académicos tienen un conocimiento activo de conceptos como conceder, implicar, hipotetizar, interpretar, etc. La explicación más evidente para los autores es que dichos términos rara vez aparecen en los libros de texto. (Olson, 1994)

Debido a la “Condensación Temática” (Lemke, 1997: 110). Es muy común en el lenguaje científico dar nombre a un pequeño patrón temático y después vincularlo con otros ítems temáticos como si fueran uno solo. Este fenómeno, denominado por Lemke condensación temática, es lo que a menudo hace parecer al lenguaje científico tan denso e impenetrable para el novato que no sabe cómo expandir estos ítems condensados para recobrar su significado completo. El autor entiende que un patrón temático es la forma de visualizar la red de relaciones entre los significados de los términos clave en el lenguaje de un tema en particular.

#### I-3- Errores relacionados con los términos específicos

Jiménez Liso y De Manuel Torres estudiaron el problema que ocasiona en la enseñanza de la química la polisemia de la terminología específica de los términos: “neutralización” (Jiménez Liso et al., 2002) y “fuerza” (Jiménez Liso et al., 2009). Ambos pueden tener distintos significados según se sitúen en un

contexto físico, químico o cotidiano. Según estos autores, la polisemia parece ser el origen de algunas concepciones alternativas diagnosticadas en los estudiantes. Precisamente, las interferencias del lenguaje cotidiano con el contexto científico son el origen de muchas concepciones alternativas, tales como dotar de propiedades perjudiciales para el organismo a cualquier ácido, identificar neutro con inocuo o con inerte, considerar que los ácidos son todos fuertes.

## II- Errores debido a la utilización de imágenes

Es difícil concebir un texto de ciencias, sea escolar o de divulgación, sin ilustraciones: dibujos, esquemas, fotografías o micrografías, diagramas y gráficos. Aunque a veces se da por supuesto que el papel de las imágenes es el de ilustrar las explicaciones del texto, lo cierto es que constituyen un mensaje que puede ser paralelo o complementario al texto, e incluso contradictorio con él. Por ejemplo, cuando en un libro de ciencias de primaria se representa la fotosíntesis en un dibujo en el que solo aparecen el agua y el  $\text{CO}_2$  (entrando en la hoja) y el  $\text{O}_2$  (saliendo), sin ninguna mención a la glucosa o al almidón, se está favoreciendo una percepción (frecuente en el alumnado) de la fotosíntesis como un intercambio gaseoso (a veces entendido como opuesto a la respiración), sin tener en cuenta la síntesis de materia orgánica.

Las imágenes científicas tienen sus propios códigos que es preciso conocer para poder interpretarlas. Sin embargo ocurre a veces que el profesorado da por supuesto que el alumnado conoce estos códigos y no dedica suficiente tiempo a hacerlos explícitos. Así, por ejemplo, los cortes de las células representados en los libros pueden favorecer la imagen de una célula plana, no tridimensional; parte de los estudiantes muestran otras dificultades, como la atribución de rasgos macroscópicos a una muestra microscópica (por ejemplo, dibujar la epidermis de la cebolla como aros concéntricos); los problemas para reconocer una dirección diferente de la habitual (por ejemplo, células en mitosis vistas desde un polo); o dificultades en pasar de una escala a otra. En las ilustraciones de células, se presentan a veces mezcladas imágenes procedentes de microscopía óptica y electrónica, sin aclarar las diferencias entre unas y otras, mostrando, por ejemplo, la estructura de las mitocondrias o los cloroplastos como si pudieran observarse al microscopio óptico. Otro ejemplo puede ser la coloración en rojo y azul de la sangre arterial y venosa en un esquema de la circulación en el cuerpo humano, que puede llevar a confusión. (Jiménez Aleixandre et al., 2003)

Si bien la imagen presenta la ventaja frente al lenguaje verbal de permitir una lectura de superficie y no secuencial, presenta la desventaja de la polisemia. Esta última característica de la imagen hace que resulte muy difícil predecir cuál va a ser la interpretación que sobre una ilustración va a realizar una persona. Esta especificidad de la imagen, como instrumento de comunicación abierto o ambiguo, plantea un problema educativo de primer orden que afecta a los editores, a los profesores que lo usan y al propio alumno. Debido a la polisemia de las imágenes y la superficialidad con que los humanos las observamos, se plantea la necesidad de dirigir su interpretación mediante el uso de palabras. (Perales y Jiménez, 2002)

## III- Errores relacionados con el lenguaje simbólico

Es frecuente que los alumnos interpreten que la molécula de agua,  $\text{H}_2\text{O}$  está formada por otra molécula, la de hidrógeno,  $\text{H}_2$ .

## EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE

### Importancia

*“El estudio de las soluciones de ácidos y bases adquiere gran importancia debido a que estas sustancias intervienen en numerosos procesos químicos, tanto industriales como biológicos. Por ejemplo, la vida de los peces y las plantas acuáticas, los contaminantes o la lluvia ácida que tanto daño hacen a nuestro planeta, dependen de la acidez o basicidad de las soluciones. Además, como resultado del metabolismo celular, el cuerpo humano genera una gran cantidad de sustancias ácidas y básicas. Algunas provienen de los alimentos que ingerimos y otras de la oxidación completa de hidratos de carbono, proteínas y grasas.”* (Di Risio y otros, 2006: p. 418)

### Historia

*“El término ácido proviene del latín y significa agrio. Fue usado hace ya más de dos siglos para denominar un conjunto de sustancias que en solución acuosa exhibían ciertas propiedades, tales como un característico sabor agrio, la coloración roja del papel de tornasol azul, y la capacidad de disolver algunos metales, como por ejemplo el cinc, el magnesio y el hierro.”*

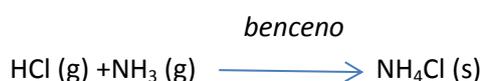
*“El término base o álcali fue originalmente utilizado para denominar al conjunto de sustancias cuyas soluciones acuosas se caracterizaban por su sabor amargo, la coloración azul al papel de tornasol rojo, y un tacto resbaladizo y jabonoso en contacto con la piel.”*

*Hubo varias teorías para explicar el comportamiento de estas sustancias en solución, pero recién hacia 1887 el químico sueco Svante Arrhenius propuso la primera teoría útil para explicar el comportamiento de los ácidos y las bases.”* (Di Risio y otros, 2006: p. 418)

Según Arrhenius ácido es aquella sustancia que tiene hidrógeno en su molécula y que en soluciones acuosas libera cationes hidrógeno,  $H^+$ . Base es aquella sustancia que tiene grupo oxhidrilo y que en soluciones acuosas libera el anión hidróxido,  $OH^-$ .

*“Aunque esta teoría fue un singular avance en el estudio del comportamiento de las soluciones de electrolitos, resultó incompleta para explicar los siguientes resultados experimentales:*

- i) algunas sustancias que no tenían oxhidrilos, como por ejemplo el amoníaco ( $NH_3$ ), exhibían propiedades básicas*
- ii) En medios no acuosos también podían producirse reacciones del tipo:*



es decir que, al burbujear gas cloruro de hidrógeno y gas amoníaco en benceno, como solvente, se produce una reacción química con la aparición del cloruro de amonio. La misma sal se obtiene al trabajar en solución acuosa

iii) Resultaba poco probable la existencia del ion  $H^+$  en solución

Debido a las limitaciones antedichas de la teoría de Arrhenius se necesitó un concepto más amplio de ácido y base, surgiendo entonces la teoría de Bronsted y Lowry en 1923. Esta define a un ácido como cualquier entidad química capaz de ceder un protón, mientras que una base es cualquier entidad química capaz de aceptar un protón.

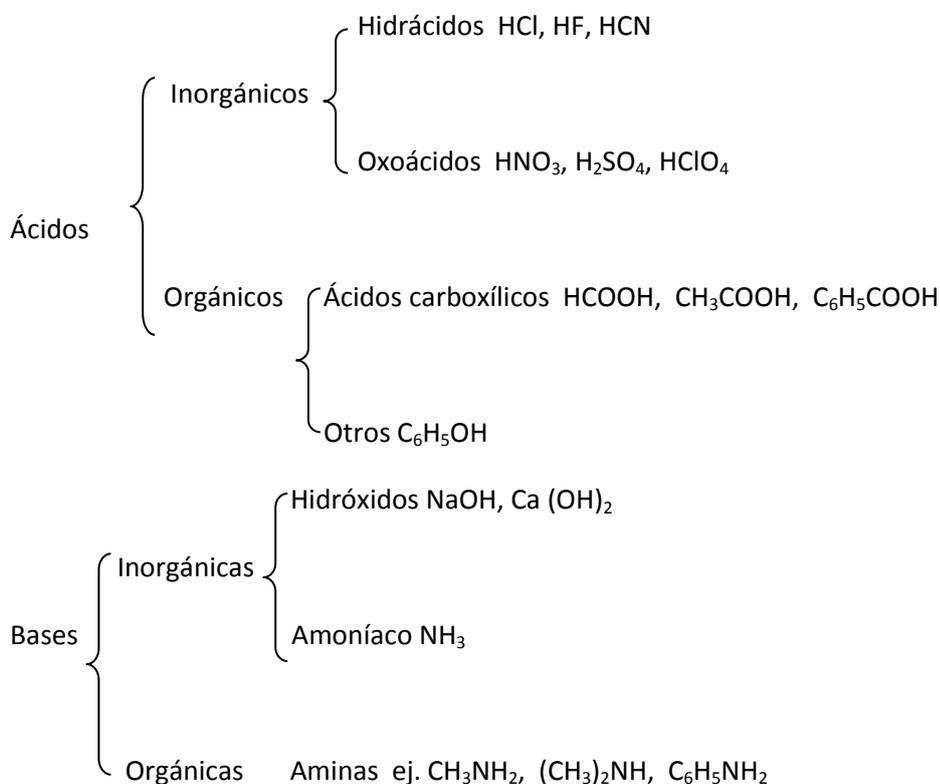
Un ácido y una base se pueden representar por la ecuación



Esta teoría puede aplicarse a especies tanto en el solvente agua como en solventes no acuosos” (Angelini y otros, 1998: p.445-446).

Desde el punto de vista **simbólico**.

Se muestra a continuación una clasificación con ejemplos de sustancias ácidas y básicas que se reconocen mediante su fórmula química.



Desde el punto de vista **macroscópico**, se puede diferenciar un ácido de una base porque los ácidos tiñen de rojo el papel de tornasol (papel teñido con un colorante especial) y las bases lo hacen de azul. Otra característica que permite diferenciarlos es el valor de pH que tiene una solución ácida, a 25°C es menor que 7,00 y las soluciones básicas tiene pH mayores a 7,00.

Según la **Teoría de Brønsted y Lowry**,

Ácido es la especie (molécula o ion) capaz de ceder o dar un protón  $H^+$  a otra especie.

Base es la especie (molécula o ion) capaz de aceptar o captar un protón  $H^+$  de otra especie.

Las sustancias ácidas en agua se ionizan formando el ion hidronio. Esta reacción es también una reacción ácido-base pues el agua se comporta como una base aceptando el protón que libera el ácido.

## Ácidos y Bases, Fuertes y Débiles

La ionización puede ser una reacción completa; en tal caso se habla de un ácido fuerte y se dice que el ácido es débil cuando la ionización es parcial. En este último caso se establece un equilibrio en el cual coexisten algunas moléculas de ácido sin ionizar con los iones productos de la reacción.

Son **ácidos fuertes** los ácidos Clorhídrico HCl, Bromhídrico HBr, Iodhídrico HI, Perclórico  $HClO_4$ , Nítrico  $HNO_3$ , Sulfúrico  $H_2SO_4$  (en la primera ionización)

Ejemplos:

ÁCIDOS FUERTES	ECUACIÓN DE IONIZACIÓN O ÁCIDO-BASE
Ácido Clorhídrico HCl	$HCl (g) + H_2O (l) \longrightarrow H_3O^+ (aq) + Cl^-(aq)$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 100px;">Cloruro de Hidrógeno</span> <span style="margin-right: 100px;">ion hidronio</span> <span>ion cloruro</span> </p>
Ácido Sulfúrico $H_2SO_4$	$H_2SO_4 + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + HSO_4^-$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 100px;"></span> <span>Ion hidrógeno sulfato</span> </p>

Son **ácidos débiles** el resto de los ácidos inorgánicos y todos los orgánicos.

Ejemplos:

ÁCIDOS DÉBILES	ECUACIÓN ÁCIDO-BASE O DE IONIZACIÓN
Ácido Fluorhídrico HF	$\text{HF} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{F}^-$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 150px;">Fluoruro de Hidrógeno</span> <span style="margin-right: 50px;">ion hidronio</span> <span>ion Fluoruro</span> </p>
Ácido Benzoico C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$ <p style="text-align: center;">Ion benzoato</p>

Las **bases fuertes** son los hidróxidos de metal, que son sustancias iónicas; por lo tanto en agua se disocian.

Ejemplos:

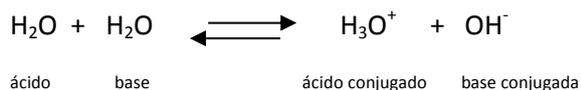
BASES FUERTES	ECUACIÓN DE DISOCIACIÓN
Hidróxido de sodio NaOH	$\text{NaOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 100px;">(aq)</span> <span>(aq)</span> </p>
Hidróxido de calcio Ca(OH) <sub>2</sub>	$\text{Ca(OH)}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 50px;">(aq)</span> <span>(aq)</span> </p>

Las **bases débiles** son el amoníaco y todas las aminas. La reacción ácido-base es una reacción de ionización (son sustancias moleculares) y como son débiles, es parcial.

Ejemplos:

BASES DÉBILES	ECUACIÓN ÁCIDO-BASE (IONIZACIÓN)
Amoníaco NH <sub>3</sub>	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ <p style="text-align: center;"> <span style="margin-right: 100px;">Ion amonio</span> <span>ion hidróxido</span> </p>
Metilamina CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{NH}_3^+ + \text{OH}^-$

## Autoionización del Agua



## Soluciones Neutras, Ácidas y Básicas

Se considera que una solución es:

**neutra** si  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$

y a 25°C ambas valen  $1.00 \cdot 10^{-7} \text{ M}$

**ácida** si  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  es mayor que  $[\text{OH}^-]$

y a 25°C  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  es mayor que  $1.00 \cdot 10^{-7} \text{ M}$

y la  $[\text{OH}^-]$  es menor que  $1.00 \cdot 10^{-7} \text{ M}$

(pues se sigue cumpliendo que  $[\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] = 1.00 \cdot 10^{-14}$ )

**básica** si  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  es menor que  $[\text{OH}^-]$

y a 25°C  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  es menor que  $1.00 \cdot 10^{-7} \text{ M}$

y la  $[\text{OH}^-]$  es mayor que  $1.00 \cdot 10^{-7} \text{ M}$

(pues se sigue cumpliendo que  $[\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-] = 1.00 \cdot 10^{-14}$ )

## Conceptos de Acidez, Basicidad, pH y pOH

La Acidez se refiere a la cuantificación de la concentración de iones hidronio de una solución. Es la medida de la concentración molar de estos iones en solución acuosa, simbolizada por  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ . Resulta poco práctico expresar la acidez en términos de molaridad pues se utilizarían valores muy pequeños, expresados en notación científica. Una escala muy utilizada para medir la acidez es la escala pH, introducida en 1909 por químico danés S. Sorensen.

El pH se define  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$

Análogamente, la basicidad se refiere a la cuantificación de la concentración de ion hidróxido. Es una medida de la concentración molar de estos iones en solución acuosa, simbolizada por  $[\text{OH}^-]$ . El pOH se define  $\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$

El pH y el pOH de una misma solución se vinculan de la manera que se deduce a continuación.

25°C

$$pK_w = -\log K_w = pH + pOH = 14.00$$

A 25°C

	Solución ácida	Agua y solución neutra	Solución básica	
[ H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] ←	Mayor que 1.00 10 <sup>-7</sup> M	1.00 10 <sup>-7</sup> M	Menor que 1.00 10 <sup>-7</sup> M	
	Menor que 7.00	7.00	Mayor que 7.00	pH →
[ OH <sup>-</sup> ] →	Menor que 1.00 10 <sup>-7</sup> M	1.00 10 <sup>-7</sup> M	Mayor que 1.00 10 <sup>-7</sup> M	
	Mayor que 7.00	7.00	Menor que 7.00	pOH ←

$$K_w = [ H_3O^+ ] [ OH^- ] = 1.00 \cdot 10^{-14}$$

$$pK_w = pH + pOH = 14.00$$

Mayor es la **acidez** de una solución cuanto mayor es la [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] y por lo tanto menor es el pH

Mayor es la **basicidad** de una solución cuanto mayor es la [OH<sup>-</sup>] y por lo tanto menor el pOH

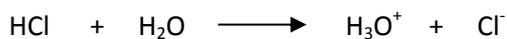
### Diferencia entre un ácido fuerte y débil

Ya se ha visto que los ácidos fuertes son aquellos que se ionizan completamente, y que los ácidos débiles son aquellos que se ionizan parcialmente.

**Simbólicamente** la diferencia aparece en la simple flecha (para ácidos fuertes) y en la doble flecha (para los ácidos débiles).

Ejemplos:

- Ácido fuerte



Cloruro de Hidrógeno

ion hidronio

ion cloruro



Fluoruro de Hidrógeno

ion hidronio

ion Fluoruro

Inicial Ca

Equilibrio Ca - x

x

x

X representa los moles por litro que se han ionizado

$$K_a = \frac{[H_3O^+][F^-]}{[HF]} = \frac{x \cdot x}{Ca - x} = \frac{x^2}{Ca - x}$$

Los corchetes están representando concentraciones molares en el equilibrio.

x

El **grado de disociación**\* = ----- estaría indicando la fracción de moléculas

Ca

que se ha ionizado sobre el total, o sea la iniciales.

\* (estrictamente sería de ionización, pero por tradición se sigue llamando de disociación)

x

El **porcentaje de disociación** = ----- 100

Ca

pKa = - log Ka es una forma indirecta de dar el valor de ka, porque despejando:

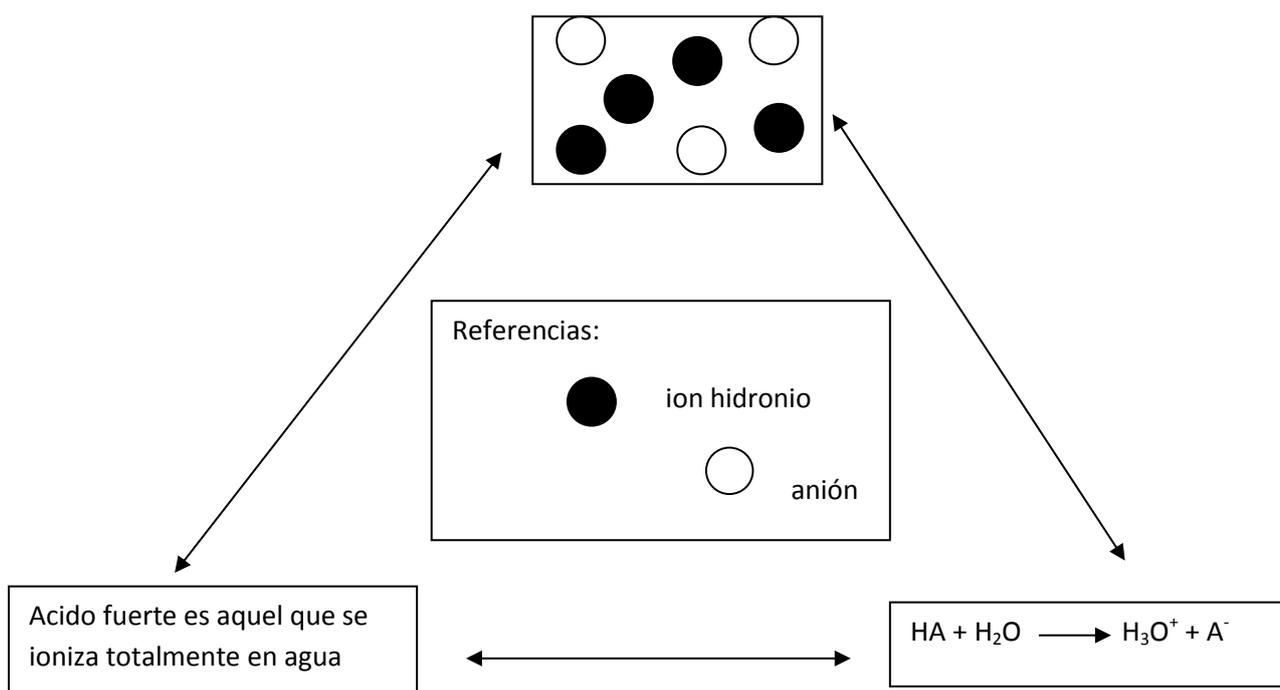
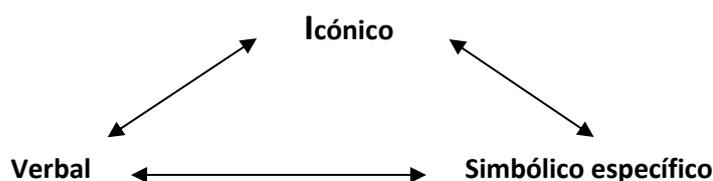
$$K_a = 10^{-pK_a}$$

## Concepto de Fuerza Ácida

Con el concepto de fuerza ácida nos referimos al conocimiento de la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil, sin atender en este estudio a la comparación de dos o más ácidos débiles. El ácido fuerte se ioniza completamente mientras que el ácido débil reacciona parcialmente con el agua para ionizarse.

Cuanto mayor sea la  $K_a$  de un ácido débil mayor es su fuerza ácida y menor será su  $pK_a$

**Ejemplo de representaciones semióticas expresadas en diferentes registros de un mismo concepto, el de ácido fuerte**



## Terminología utilizada en este trabajo

“...el consejo de iniciar siempre las discusiones rescatando significados y precisando definiciones es atinente a la discusión de cuestiones...” (Klimovsky, 1995: 57)

En el presente trabajo se utilizará la siguiente terminología y se entenderá cómo se define a continuación:

**Concepto de acidez.** Se refiere a la cuantificación de la concentración de iones hidronio de una solución.

**Concepto de fuerza ácida.** Se refiere al conocimiento de la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil, sin atender en este estudio a la comparación de dos o más ácidos débiles. El ácido fuerte se ioniza completamente, mientras que el ácido débil reacciona parcialmente con el agua para ionizarse.

**Esquemas gráficos** son representaciones gráficas o icónicas que visualizan o convierten en visibles cosas invisibles, para hacerlas imaginables y comprensibles. Tienen una cualidad didáctica específica: la de hacer visibles cosas que por naturaleza no lo son, y por consiguiente hacerlas imaginables y comprensibles. Son ejemplos *las representaciones gráficas del nivel submicroscópico (molecular) de la materia.*

**Imágenes** son representaciones gráficas o icónicas que representan o vuelven a hacer presentes a los ojos y a la memoria las cosas que han sido vistas o que son potencialmente visibles en la realidad. Son ejemplos *las representaciones gráficas del nivel macroscópico de la materia y sus cambios.*

**Modelos científicos** son aquellas representaciones externas construidas por los científicos, que ponen en evidencia la vinculación entre conceptos.

**Modelos conceptuales** son todas las representaciones externas tanto formuladas por alumnos como por docentes, en la medida en que muestren o permitan mostrar las relaciones o vinculaciones entre conceptos.

**Modelos mentales** son representaciones internas, son análogos estructurales del mundo; su estructura, y no su aspecto, corresponde a la estructura de la situación que representan.

**Modelos Moleculares** representaciones concretas, objetos tridimensionales construidos por bolillas y conectores de diferentes materiales.

**Representaciones gráficas o icónicas** son RS constituidas en un registro gráfico.

**Representaciones semióticas** son representaciones externas constituidas en un sistema de signos.

**Representaciones simbólicas** son representaciones semióticas constituidas en un registro simbólico.

**Representaciones simbólicas específicas** están constituidas en el registro simbólico específico de la química. Son ejemplos los símbolos químicos, fórmulas y ecuaciones químicas.

**Representaciones simbólicas lingüísticas** son representaciones semióticas constituidas en el registro simbólico del lenguaje natural o verbal, tanto ordinario como específico.

## Capítulo 4: Metodología

---

## Introducción.

Este estudio se llevó a cabo en las clases de química del Ciclo Básico Común, durante el segundo cuatrimestre de 2012.

**Química es una asignatura cuatrimestral del Ciclo Básico Común.** Se dicta en varias carreras que se cursan en la Universidad de Buenos Aires. El dictado de esta materia se caracteriza por ser masivo. La matrícula varía entre 18000 y 15000 alumnos aproximadamente, según se trate del primer o segundo cuatrimestre respectivamente. Si bien los alumnos se distribuyen en cursos o comisiones en diferentes lugares geográficos y horarios, la materia Química es cátedra única. Las decisiones curriculares las toman en conjunto el profesor titular de la cátedra y un pequeño grupo de profesores, que además poseen la función de coordinar las diferentes sedes. Si bien algunas comisiones están a cargo de los profesores, la gran mayoría de los cursos se encuentran a cargo de los docentes auxiliares, como lo son los jefes de trabajos prácticos y los ayudantes. Todos los cursos desarrollan el mismo cronograma de actividades con idénticos materiales y evaluaciones simultáneas.

La **modalidad de enseñanza tradicional** de esta cátedra única presenta las siguientes características: las clases son teórico-prácticas y están organizadas en torno a la resolución de una guía de estudios y ejercicios: "QUÍMICA Ejes temáticos y ejercitación" (Alí, S. et al.; 2011). Se actualiza periódicamente, y es el único material obligatorio que incluye además de cuestionarios y problemas, una lista de bibliografía sugerida.

Solo en algunas sedes, se dictan prácticas de laboratorio que son optativas y complementan algunos de los temas dictados en clase. Sin embargo, la escasa disponibilidad de laboratorios en los que se dictan estos talleres fija un cupo limitado al 3% del alumnado.

La modalidad establecida por la cátedra y adoptada por la gran mayoría de los docentes consiste, a grandes rasgos, en la exposición de los temas teóricos seguida de la resolución de "problemas tipo", extraídos de la mencionada guía de problemas. Desde el punto de vista de las representaciones semióticas utilizadas, se hace hincapié en el lenguaje simbólico específico y verbal. Las representaciones gráficas, tanto de los aspectos macroscópico como submicroscópico de los fenómenos, se pueden ver de forma muy aislada en la guía de problemas, aunque con mayor frecuencia en el libro de la cátedra (Di Risio y otros, 2006), bibliografía que no es obligatoria. No se utilizan en las clases otros recursos más que la tiza y el pizarrón. Únicamente en la explicación de un tema particular, geometría molecular, se utilizan "modelos moleculares" que son representaciones semióticas concretas construidas por bolillas y conectores de diferentes materiales que remiten al nivel submicroscópico de la materia. El aspecto macroscópico de la materia y los fenómenos se pone en evidencia en las clases de laboratorio, pero como ya se dijo, éstas no son obligatorias y sólo concurre a ellas un muy bajo porcentaje del alumnado.



*Modelos moleculares utilizados en la enseñanza de la geometría molecular de algunas sustancias*

En **esta investigación** se decidió poner a prueba las conjeturas pedagógicas y didácticas, la idea de que los alumnos mejorarían la comprensión si durante la enseñanza se explicitaran y vincularan los aspectos macroscópico y submicroscópico (denominando submicroscópico al nivel molecular o nanoscópico) de materia, si estos niveles se mostraran mediante representaciones semióticas de variados tipos, y si se explicitaran las concepciones alternativas, tanto las diagnosticadas en los alumnos como otras conocidas por investigaciones previas, para someterlas a debate y contribuir mediante una actividad reflexiva y metacognitiva a evitar que las ideas previas erróneas obstaculicen la construcción de un nuevo conocimiento.

La comprobación de estas conjeturas o hipótesis se llevó a cabo contrastando una propuesta de **enseñanza innovadora** con respecto a la enseñanza tradicional de química en el CBC en dos grupos distintos de alumnos.

La propuesta innovadora se centró en la vinculación del aspecto macroscópico con el submicroscópico de la materia, junto con la utilización de representaciones semióticas de diversos tipos como lo son las representaciones expresadas en lenguaje natural o verbal, las representaciones gráficas y las simbólicas propias del lenguaje específico de la química.

Para la evaluación de la propuesta se utilizó una **metodología comparativa entre dos grupos** y se llevó a cabo en **dos etapas**.

Se seleccionaron dos comisiones de alumnos de química del CBC, y a partir de ellas se establecieron los dos grupos para la comparación.

Se denominó grupo experimental, en adelante GE, a la comisión de alumnos que fueron enseñados con esta nueva metodología desde el comienzo y durante toda la cursada. Se denominó grupo de control, en adelante GC, a una muestra de la otra comisión, correspondiente a los alumnos de un profesor cuya enseñanza se puede considerar como “enseñanza tradicional”.

El GE es un grupo intacto de 19 alumnos, alumnos de la autora de esta tesis, docente de química del CBC, quien estuvo a cargo del curso desde que empezaron las clases hasta el comienzo del tema equilibrio ácido - base. Para darle mayor objetividad al estudio, se previó la posibilidad de que un tercer profesor tome a su cargo el dictado de la secuencia ácido-base en este grupo, y aplique esta nueva metodología. Este cambio de docente efectuado le otorgó mayor imparcialidad al experimento, en la medida que él mismo fue quien diseñó sus clases teniendo en cuenta los tres ejes básicos de esta nueva forma de enseñar “la química” del CBC, que consisten como ya se ha mencionado, en:

- relacionar los niveles macro y submicroscópico de la materia y sus cambios
- utilizar representaciones semióticas expresadas en diferentes registros
- “trabajar” con las concepciones alternativas en una actividad reflexiva y metacognitiva

Se efectuó la observación de sus clases y se corroboró la implementación de la innovación propuesta en la enseñanza.

El GC es un subgrupo de la otra comisión de alumnos correspondiente a un profesor cuya enseñanza se puede considerar como “enseñanza tradicional”. Este subgrupo GC, de 20 alumnos, surgió luego del

emparejamiento que se realizó para minimizar las diferencias en cuanto al porcentaje de alumnos que cursan la materia por primera vez, la carga horaria destinada a la asignatura química en la escuela secundaria de cada integrante del grupo y la distribución de notas del primer parcial, entre otras, de manera tal de lograr una mayor confiabilidad al realizar el análisis comparativo de los resultados, aunque sin pretensión de llevar a cabo un estudio experimental; solo a efecto de lograr equivalencia inicial en los grupos. Se efectuó también en este grupo la observación de las clases y se corroboró que la enseñanza impartida por el profesor respondía a las características de una enseñanza tradicional.

Los datos utilizados para el emparejamiento fueron obtenidos a partir de una encuesta que se aplicó a una muestra de alumnos a partir de la cual se establecieron los grupos experimental y de control.

Si bien las comisiones en Química del CBC, como ya se mencionó, son numerosas, luego del primer parcial, muchos de los alumnos dejan de concurrir a las clases. Más allá de que la encuesta mencionada en el párrafo anterior se llevó a cabo antes del primer parcial, solo unos pocos alumnos estuvieron presentes en las distintas oportunidades en las que fueron evaluados para esta investigación, reduciéndose así la población a “unos pocos” que siempre participaron voluntariamente. Además, como esta investigación se llevó a cabo durante el segundo cuatrimestre, se partió de comisiones menos numerosas que las que hay en el primer cuatrimestre.

La primera etapa de experimentación empezó con el comienzo de las clases, y terminó antes de impartirse la enseñanza de la secuencia ácido-base. Terminada esta etapa, se llevó a cabo una evaluación con el objetivo de constituir una primera prueba de esta nueva metodología de enseñanza. Para esto se evaluaron las respuestas de los alumnos de ambos grupos con respecto a algunos conceptos enseñados, y que son prerequisites del tema ácido-base.

La segunda etapa comenzó con la secuencia del dictado ácido-base y concluyó cuando terminó esta secuencia. El objetivo de esta etapa fue constituirse en una segunda puesta a prueba de la nueva metodología de enseñanza propuesta. Para esto se utilizó una metodología comparativa de los dos mismos grupos, con pre-test y post-test, que permitió evaluar tanto el conocimiento previo de conceptos propios del tema ácido-base, como la comprensión de los conceptos de acidez y de fuerza ácida.

Se eligió, entre todos los contenidos del programa de Química del CBC, realizar la medición final en el tema **equilibrio ácido-base**.

Su importancia para esta tesis reside en las siguientes razones:

Para la gran mayoría de los alumnos del CBC resulta ser el primer contacto con la enseñanza formal del tema, ya que no suele enseñárselo en la escuela secundaria y si se lo enseña no se lo hace con suficiente profundidad. Entonces es de suponer que los alumnos no cargarían con ideas previas inducidas por una enseñanza anterior, hecho que permitiría realizar inferencias más objetivas al efectuar la comparación entre la modalidad de enseñanza tradicional y la innovación propuesta en esta investigación.

Por otra parte, equilibrio ácido-base es un tema integrador de muchos conceptos y relaciones entre conceptos, en este sentido es un tema complejo que resulta de fundamental importancia para muchos alumnos en relación con el resto de su formación académica.

Por último, una razón que no es de índole metodológica sino más bien pedagógica. Como la gran mayoría de los alumnos del CBC son estudiantes de medicina y no vuelven tener una materia de química general,

es de fundamental importancia que culminen sus estudios de química en el CBC habiendo comprendido los conceptos de acidez y fuerza ácida.

**Los instrumentos** impartidos a los alumnos de ambos grupos fueron:

- **Encuesta:** para relevar información necesaria para el emparejamiento de los grupos
- **Test de evaluación de pre-requisitos:** se tomó con la finalidad de hacer una primera evaluación de la metodología implementada
- **Pre-test:** destinado a diagnosticar las ideas previas de los alumnos con respecto al tema ácido-base
- **Post-test:** diseñado con el objetivo de indagar tanto en la comprensión de los conceptos de acidez y fuerza ácida, como en los errores cometidos por los alumnos durante el transcurso de la secuencia didáctica de ácido-base

## La investigación

Se puede hablar de **tres momentos** en la investigación:

- ✓ El momento de las decisiones previas
- ✓ El momento de la experiencia
- ✓ El momento del análisis comparativo (*se desarrollará en el siguiente capítulo*)

## El momento de las decisiones previas

### Planeamiento de un cuasi-experimento.

En esta etapa de la investigación, se planeó el cuasi-experimento previendo manipular deliberadamente la modalidad de la exposición de los contenidos del curso de química (variable independiente) para evaluar su efecto en la comprensión de los alumnos (variable de respuesta).

La aplicación de este tratamiento experimental consistiría en innovar la enseñanza con respecto al empleo de representaciones semióticas que son escasamente utilizadas en la propuesta tradicional de la cátedra.

Esta innovación contemplaría:

- La incorporación tanto de variadas representaciones semióticas, como de su tratamiento y conversión (Duval, 1999)
- La vinculación de los niveles de representación macroscópico y sub-microscópico de la materia y sus cambios (Johnstone, 1982)
- El tratamiento de las concepciones alternativas, llevándose a cabo una actividad reflexiva y meta-cognitiva (Pozo Municio y Gómez Crespo, 1998)

La introducción en el aula de esta nueva modalidad de enseñanza se realizaría con el objetivo de que los alumnos pudieran lograr una mejor comprensión.

Para la evaluación de esta propuesta se utilizaría una **metodología comparativa entre dos grupos** y se llevaría a cabo en **dos etapas**.

Se seleccionarían dos comisiones de alumnos de química del CBC y a partir de ellas se establecerían los **dos grupos para la comparación**. Se denominaría grupo experimental, en adelante GE, a la comisión de alumnos de esta docente, que serían enseñados con esta nueva metodología desde el comienzo y durante toda la cursada. Se denominaría grupo de control, en adelante GC, a una muestra de la otra comisión, obtenida luego de llevarse a cabo una operación de emparejamiento de grupos, correspondiente a los alumnos de un profesor cuya enseñanza se pueda considerar como “enseñanza tradicional”.

**Equilibrio ácido-base**, entre todos los contenidos del programa de Química del CBC, fue el elegido para realizar la evaluación de la metodología propuesta.

Su importancia para esta tesis reside en las siguientes razones:

Para la gran mayoría de los alumnos del CBC resulta ser el primer contacto con la enseñanza formal del tema, ya que no suele enseñárselo en la escuela secundaria y si se lo enseña no se lo hace con suficiente profundidad. Entonces es de suponer que los alumnos no cargarían con ideas previas inducidas por una enseñanza anterior, hecho que permitiría realizar inferencias más objetivas al efectuar la comparación entre la modalidad de enseñanza tradicional y la innovación propuesta en esta investigación.

Por otra parte, equilibrio ácido-base es un tema integrador de muchos conceptos y relaciones entre conceptos, en este sentido es un tema complejo que resulta de fundamental importancia para muchos alumnos en relación con el resto de su formación académica.

Por último, una razón que no es de índole metodológica sino más bien pedagógica. Como la gran mayoría de los alumnos del CBC son estudiantes de medicina y no vuelven tener una materia de química general, es de fundamental importancia que culminen sus estudios de química en el CBC habiendo comprendido los conceptos de acidez y fuerza ácida.

**En lo relativo a las dos etapas** de experimentación, la primera etapa de experimentación comenzaría al empezar las clases, y terminaría antes de impartirse la enseñanza de la secuencia ácido-base. Finalizada esta etapa se llevaría a cabo una evaluación, con el objetivo de constituir una primera puesta a prueba de esta nueva metodología de enseñanza. Para esto se decidió realizar la medición en algunos de los conceptos enseñados en ese período, específicamente aquellos que son pre-requisitos del tema ácido-base.

Los conceptos considerados como pre-requisitos del tema ácido-base son:

- Simbología química (formuleo)
- Soluciones (solutos iónicos y moleculares, concentración molar)
- Equilibrio químico (reacción química: ecuación, situación de equilibrio)

La segunda etapa comenzaría con la secuencia del dictado ácido-base y concluiría finalizada esta secuencia. El objetivo de esta etapa sería la de constituirse en una segunda puesta a prueba de la nueva metodología de enseñanza propuesta.

Para esto se utilizaría, en esta segunda etapa, una metodología comparativa de los dos mismos grupos, con pre-test y post-test, que permitiría evaluar tanto el conocimiento previo de conceptos propios del tema ácido-base como la comprensión de los conceptos de acidez y de fuerza ácida.

## Diseño de los instrumentos

Se confeccionaron cuatro instrumentos: encuesta, test de evaluación de los pre-requisitos, pre-test y post-test, atendiendo a las siguientes razones:

- ✚ Los resultados de la **encuesta** permitirían conocer algunas características de los alumnos para ser utilizadas en el emparejamiento de los grupos
- ✚ El **test de evaluación de los pre-requisitos** se pensó para evaluar los conocimientos que tenían los alumnos de los contenidos que son pre-requisitos del tema ácido-base, como lo son: “Simbología”, “Soluciones” y “Equilibrio químico”
- ✚ El **pre-test** se pensó para evaluar los conocimientos previos que tenían los alumnos en el tema equilibrio ácido-base. Al ser tan amplio el tema de equilibrio ácido-base se planeó focalizar la investigación en las teorías que sostuvieran los alumnos con respecto a lo que es un ácido, y los concepto de “fuerza acida” y de “acidez”
- ✚ El **post-test**, se pensó para evaluar la comprensión del tema equilibrio ácido-base luego de la instrucción recibida por los alumnos. Son dos los conceptos relevantes cuya comprensión se pretendería evaluar: **fuerza ácida** entendida en el sentido de la diferencia entre ácido fuerte y débil y **acidez**

Los test originales que se impartieron a los alumnos de ambos grupos fueron previamente consensuados con la codirectora de este trabajo, quien es integrante del cuerpo de profesores de la cátedra de química del CBC.

La importancia de su aporte radica en que, al pertenecer ella al grupo de profesores que toman decisiones académicas en esta materia, aseguraría que los alumnos de ambos grupos se encontraran en similar situación frente a la interpretación de las consignas.

Este hecho le otorga mayor objetividad a los datos obtenidos.

*Estimado alumno, le solicitamos que conteste esta encuesta. Necesitamos contar con información para llevar a cabo una investigación en didáctica cuya finalidad es mejorar la enseñanza de esta materia. Muchas gracias*

**Complete y redondee la opción según corresponda:**

Nombre		
Edad		
¿Qué orientación de escuela media siguió?	Naturales - Economía y Gestión - Producción de Bienes y Servicios - Comunicación Arte y Diseño - Humanidades - Otra	
¿Durante cuántos años tuvo química en la escuela?		
¿Cursa esta materia por primera vez?:	Sí	No
¿Ha consultado alguna bibliografía de esta materia? En caso afirmativo, ¿cuál o cuáles libros?	Sí	No
Nota del primer parcial		

Estimado alumno, le solicitamos que conteste esta encuesta. Necesitamos contar con información para llevar a cabo una investigación en didáctica cuya finalidad es mejorar la enseñanza de esta materia. Muchas gracias

Nombre:

1) Dadas las siguientes fórmulas, identifique con una X aquellas que representan sustancias ácidas.

Ca(OH) <sub>2</sub>	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	
NH <sub>3</sub>	
Ca(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	
CH <sub>3</sub> COOH	
HF	

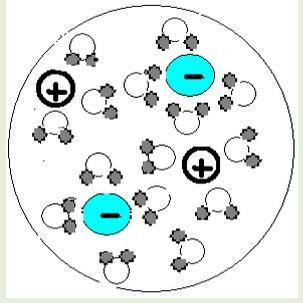
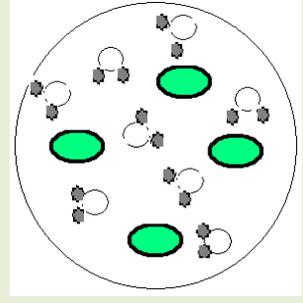
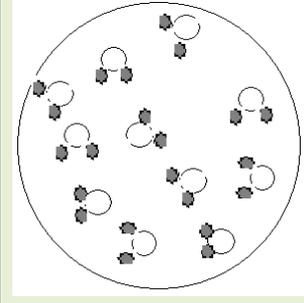
**Simbología.** Este instrumento expresado en registro simbólico se utiliza para indagar en el reconocimiento de las sustancias ácidas a partir de su fórmula química, o sea, de su simbología específica.

Se refiere al aspecto cualitativo y representa tanto el nivel submicroscópico como el macroscópico.

Dada una lista de fórmulas, se solicita reconocer cuáles representan a un ácido. Entre las fórmulas aparecen: un ácido inorgánico binario (hidrácido), uno ternario (oxoácido) y un ácido orgánico (ácido carboxílico).

2) En los siguientes dibujos se representaron las moléculas de agua como  y las cargas netas con los signos + y -.

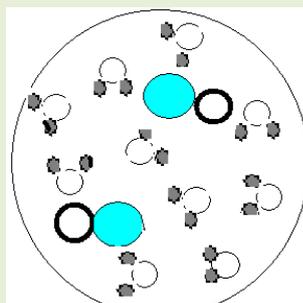
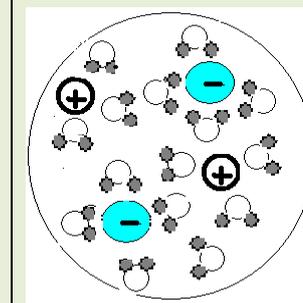
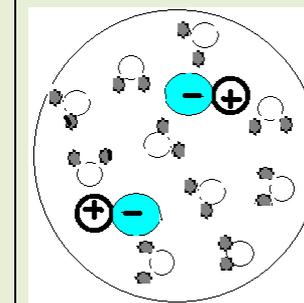
a-. Una porción submicroscópica de una solución de azúcar,  $C_{12}H_{22}O_{11}$  (sustancia molecular) en agua podría ser representada por el dibujo:

		
A	B	C

Señale la opción que corresponda. Opciones:

A	B	C	Ninguna	No sé
---	---	---	---------	-------

b- Una porción submicroscópica de una solución de cloruro de sodio, NaCl (sustancia iónica) en agua podría ser representada por el dibujo:

		
A	B	C

Señale la opción que corresponda. Opciones:

A	B	C	Ninguna	No sé
---	---	---	---------	-------

**Soluciones.** Este instrumento, expresado en registro icónico, representa el nivel submicroscópico de una solución cuyo soluto es molecular (parte a) y de otra solución cuyo soluto es iónico (parte b). Se pretende indagar en la manera que representan una solución de un soluto molecular y de uno iónico; además, si representan tanto el soluto y el solvente. Esto último se quiso evaluar debido a que en un estudio previo se observó que el 55% sobre 94 alumnos no representó el agua (Callone et al., 2008).

Se refiere al aspecto cualitativo y representa el nivel submicroscópico.

Es un test de opciones múltiples. Dadas representaciones submicroscópicas de solución de azúcar en agua y de sal NaCl en agua, y recordando que este último es un compuesto iónico, se solicita identificar la representación acorde a las características de cada uno de los dos sistemas.

3) a- Calcule la molaridad de una solución que se ha preparado disolviendo 7,30 g de HCl ( $M=36,5$  g/mol) en agua y llevando a un volumen de 500 mL de solución.

b- ¿Cuántos gramos de HCl ( $M=36,5$  g/mol) se necesitan para preparar 2 litros de una solución 0,100M?

**Soluciones.** Este instrumento expresado en registro verbal, representa el nivel macroscópico de dos soluciones cuyo soluto es el ácido clorhídrico en diferente concentración.

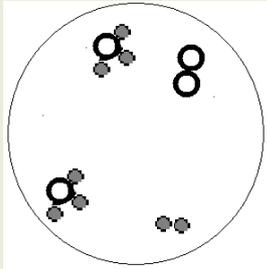
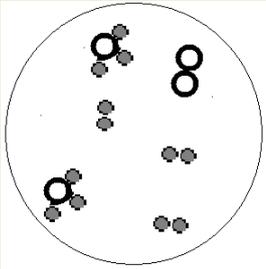
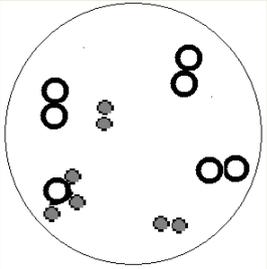
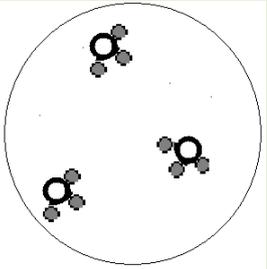
Se pretende evaluar si saben aplicar el concepto de concentración molar.

Se refiere al aspecto cuantitativo y representa el nivel macroscópico.

Problemas cuantitativos. Se solicita realizar dos cálculos diferentes en los que se aplica el concepto de molaridad.

4) Un recipiente cerrado de 10 litros a una determinada temperatura contiene un sistema en equilibrio formado por tres gases en las siguientes cantidades: 0,300 mol de  $N_2(g)$ , 0,200 mol de  $H_2(g)$  y 0,100 mol de  $NH_3(g)$ . La ecuación  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$  representa la estequiometría del equilibrio mencionado.

Una porción submicroscópica de dicho sistema, podría ser representada por el dibujo:

			
A	B	C	D

Señale la opción que corresponda. Opciones:

A	B	C	D	Ninguno	No sé
---	---	---	---	---------	-------

Equilibrio químico. En este instrumento, expresado en registros diferentes: icónico, simbólico y verbal, se pretende evaluar:

- la representación que tienen los alumnos de un sistema que se encuentra en equilibrio
- si incurren en el error de pensar que en el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos, idea previa errónea observada en el 17% sobre 94 alumnos, en un estudio anterior (Callone et al., 2008)
- si existe una concepción alternativa, percibida en las clases, resultante de una fijación entre los coeficientes estequiométricos y las cantidades de reactivos y productos en el equilibrio.

Se representan tanto el nivel macroscópico como el submicroscópico de un sistema en equilibrio.

Es un test de opciones múltiples. Dado un sistema que se halla en equilibrio, son datos para un determinado volumen, las cantidades de reactivos y productos y la ecuación química.

Se pide que identifique entre cuatro gráficos posibles cuál de ellos puede corresponder a una representación submicroscópica del sistema.

Opción A: representa la concepción alternativa de que en el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos

Opción B: representa la fijación con los coeficientes estequiométricos

Opción C: correcta

Opción D: solo representa moléculas de producto

1) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tiene respecto de los **ácidos**.

a- Los ácidos son reconocidos por su sabor agrio y, por ejemplo, porque cambian a rojo el color del tornasol.

b- Los ácidos son sustancias hidrogenadas que producen protones  $H^+$  en agua.

c- Los ácidos son especies químicas moleculares o iónicas capaces de donar un protón  $H^+$  a otra sustancia.

d- No sé cuáles son las características de los ácidos.

**Teorías ácido-base.** Test expresado en registro simbólico verbal y específico.

Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a las teorías ácido-base.

Es un test de opciones múltiples.

Opción a: reconocimiento de los ácidos por sus características macroscópicas

Opción b: aceptación de la teoría de Arrhenius

Opción c: aceptación de la teoría de Bronsted y Lowry

Opción d: desconocimiento de las características de los ácidos

2) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tiene respecto de la **diferencia entre un ácido fuerte y un ácido débil.**

- a) No existe diferencia alguna entre los ácidos fuertes y débiles.
- b) Los ácidos fuertes son aquellos que se ionizan completamente y los ácidos débiles se ionizan parcialmente.
- c- Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intramoleculares fuertes y los ácidos débiles presentan uniones débiles entre los átomos que forman la molécula.
- d- Los ácidos fuertes son las soluciones de ácido concentradas y los ácidos débiles son las soluciones de ácido diluidas.
- e- Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intermoleculares fuertes y los ácidos débiles presentan uniones débiles entre sus moléculas.
- f- Los ácidos fuertes son los de mayor acidez y los ácidos débiles son de menor acidez.
- g- No sé cuál es la diferencia entre un ácido fuerte y un ácido débil.

**Fuerza ácida.** Test expresado en registro simbólico verbal.

Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a la diferencia entre ácidos fuertes y débiles, teniendo en cuenta las concepciones alternativas indagadas en estudios anteriores (Callone et al., 2008; Alí et al., 2011; Callone y Torres, 2013).

Es un test de opciones múltiples.

Opción a: no existe diferencia

Opción b: correcta

Opción c: vinculación errónea entre el ácido fuerte y la unión intramolecular fuerte

Opción d: vinculación errónea entre el ácido fuerte y el ácido cuyas soluciones son más concentradas que las de los ácidos débiles

Opción e: vinculación errónea entre el ácido fuerte y la unión intermolecular fuerte

Opción f: vinculación errónea entre el ácido fuerte y las soluciones de mayor acidez

Opción g: desconocimiento de la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil

**Aclaración** La opción a) está mal formulado semánticamente porque se pregunta por “la diferencia” (dando por sentado que existe una diferencia) y no por “la posibilidad de una diferencia”. Su formulación se basó en los resultados de un test que se tomó como prueba piloto o con carácter exploratorio en el cuál muchos alumnos dibujaron una porción submicroscópica de un ácido fuerte totalmente igual a la un ácido débil.

3) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tiene respecto de la **acidez** de una solución de un ácido.

a- La acidez es una medida de la concentración de ion hidronio en solución.

b- La acidez depende exclusivamente de la concentración inicial de una solución acuosa de un ácido.

c- La acidez es una medida solo de la fuerza ácida.

d- La acidez es una medida de la concentración de una solución acuosa de un ácido y de la fuerza ácida simultáneamente.

e- El pH es una medida de la acidez de una solución acuosa.

f- El pH es una medida solo de la fuerza ácida.

g- No sé qué se entiende por acidez.

**Acidez.** Test expresado en registro simbólico verbal.

Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a la acidez, teniendo en cuenta las concepciones alternativas indagadas en estudios anteriores (Callone et al., 2008; ; Alí et al., 2011; Callone y Torres, 2013)

Es un test de opciones múltiples.

Opción a: correcta

Opción b: vinculación errónea con la concentración

Opción c: vinculación errónea con la fuerza ácida

Opción d: correcta con explicitación de la dependencia de la concentración inicial del ácido y su fuerza ácida

Opción e: correcta relación con el pH

Opción f: vinculación errónea entre el pH y la fuerza ácida

Opción g: desconocimiento del concepto de acidez

## Post-Test: Enunciados y consideraciones de diseño

Se pretende evaluar el comportamiento ácido-base y los conceptos de **Fuerza Ácida** y **Acidez**.

**Fuerza ácida** en el sentido de la diferencia entre ácido fuerte y débil, es decir de forma cualitativa o conceptual y no cuantitativamente, es decir, no interesa estudiar el grado en que se ioniza.

**Acidez** como una medida de concentración de iones hidronio y no como un valor relativo a la escala de pH.

Como se entiende que la comprensión se encuentra ligada a la conversión entre diferentes representaciones (Duval, 1999) se diseñaron los incisos del post-test recurriendo a diferentes registros semióticos.

En el diseño del post-test se han tenido en cuenta algunos instrumentos utilizados en trabajos anteriores que sirvieron como antecedentes también en lo que respecta a los análisis de resultados (Callone y Torres, 2013; Callone et al., 2007; Alí et al., 2011).

Instrumentos		Tipo de representación		
		Icónica	Verbal	Simbólica específica
<b>Antecedentes</b>		Callone et al., 2008 Alí et al., 2011	Callone y Torres, 2013 Alí et al., 2011	Callone y Torres, 2013
<b>Conceptos</b>	Comportamiento ácido	Se ve si representan hidronios	¿Qué es un ácido?	Indicar cuáles de las siguientes ecuaciones muestra el comportamiento ácido de una sustancia  (No se incluyó en el instrumento)
	Fuerza ácida	Se ve en la ionización	¿Cuál es la diferencia entre fuerte y débil?	Dos frascos contienen 1 dm <sup>3</sup> 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)..., coloque en los espacios en blanco los signos >, =, <, según corresponda.  [Cl <sup>-</sup> ] (frasco A). ..... [HCl] (frasco A)  [F <sup>-</sup> ] (frasco B) . . ..... [HF] (frasco B)
	Acidez	Se cuentan cuántos hidronios dibujan	¿Qué es la Acidez? Dando opciones de igual concentración inicial y de igual concentración de hidronios	Dos frascos contienen 1 dm <sup>3</sup> 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)..., coloque en los espacios en blanco los signos >, =, <, según corresponda.  [H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] (frasco A). ..... [H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] (frasco B)

*Estimado alumno: Le 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!*

Nombre:

Correo electrónico:

1) Dos frascos contienen  $1 \text{ dm}^3$  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, coloque en los espacios en blanco los signos  $>$ ,  $=$ ,  $<$ , según corresponda para las soluciones preparadas en los frascos mencionados. NOTA: si para dar estas respuestas requiere realizar algún planteo, le solicitamos que lo escriba en la hoja.

a)  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (A) .....  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (B)

b)  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (A) .....  $[\text{Cl}^-]$  (A)

c)  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (B) .....  $[\text{F}^-]$  (B)

d)  $[\text{Cl}^-]$  (A) .....  $[\text{HCl}]$  (A)

e)  $[\text{F}^-]$  (B) .....  $[\text{HF}]$  (B)

Antecedente: Callone y Torres, 2013

Test expresado en registros simbólico verbal y específico.

Se solicita a los alumnos completar los ítems en registro simbólico específico.

Los conceptos que se ponen a prueba son muchos y de variados temas. Entre ellos se pueden mencionar los conceptos de: solución, concentración de las soluciones, molaridad, autoionización del agua, fuerza ácida (ácido fuerte y ácido débil) y constante de acidez mencionados en el enunciado, acidez (ítem a), relación estequiométrica entre reactivos (ítems b y c), ácido fuerte (ítem d) y ácido débil y equilibrio químico (ítem e).

Se pretende evaluar los conceptos de acidez y su relación con la fuerza ácida (ítem a), de ácido fuerte mediante la vinculación de las concentraciones molares de alguna de las especies presentes en la solución (ítem d) y de ácido débil a través de la relación entre las concentraciones molares de alguna de las especies presentes en el equilibrio y la cuantificación relativa de dichas concentraciones a partir del valor de la constante del ácido,  $K_a$ . (ítem e).

2) Dos frascos contienen  $1 \text{ dm}^3$  de agua. En el frasco A se coloca  $0,1 \text{ mol}$  de  $\text{HCl}$  (ácido fuerte) y en el B  $0,1 \text{ mol}$  de  $\text{HF}$  (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, complete los espacios en blanco con “mayor que”, “igual a” o “menor que”, según corresponda para las soluciones preparadas en los frascos mencionados.

a) La concentración molar de iones hidronio en la solución A es .....la concentración molar de iones hidronio en la solución B.

b) La concentración molar de iones hidronio en la solución A es .....la concentración molar de iones cloruro en la solución A.

c) La concentración molar de iones hidronio en la solución B es .....la concentración molar de iones fluoruro en la solución B.

d) La concentración molar de iones cloruro en la solución A es ..... la concentración molar de cloruro de hidrógeno en la solución A.

e) La concentración molar de iones fluoruro en la solución B es .....la concentración molar de fluoruro de hidrógeno en la solución B.

Antecedente: Callone y Torres, 2013

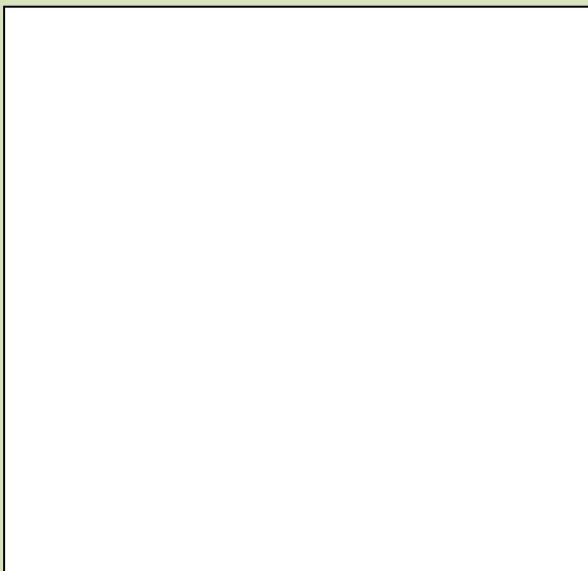
Test expresado en registros simbólico verbal.

Se solicita a los alumnos completar los ítems en registro verbal.

Los conceptos que se ponen a prueba son muchos y de variados temas. Entre ellos se pueden mencionar los conceptos de: solución, concentración de las soluciones, molaridad, autoionización del agua, fuerza ácida (ácido fuerte y ácido débil) y constante de acidez mencionados en el enunciado, acidez (ítem a), relación estequiométrica entre reactivos (ítems b y c), ácido fuerte (ítem d) y ácido débil y equilibrio químico (ítem e).

Se pretende evaluar los conceptos de acidez y su relación con la fuerza ácida (ítem a), de ácido fuerte mediante la vinculación de las concentraciones molares de alguna de las especies presentes en la solución (ítem d) y de ácido débil a través de la relación entre las concentraciones molares de alguna de las especies presentes en el equilibrio y la cuantificación relativa de dichas concentraciones a partir del valor de la constante del ácido,  $K_a$ . (ítem e).

3) Dos frascos contienen  $1\text{dm}^3$  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), sin que se produzca cambio de volumen. Usted dispone de una lupa muy potente que permite ver hasta el nivel molecular. Intente dibujar en los dos rectángulos siguientes un esquema de lo que podría ver en el frasco A y en el frasco B.



Frasco A



Frasco B

Antecedente: Callone et al., 2008

Test expresado en registros simbólico verbal y específico.

En este instrumento se enuncia la misma situación que en los instrumentos 1 y 2 en registro verbal y simbólico específico, la única diferencia es que no se ha informado como dato del problema el valor de la constante del ácido,  $K_a$ .

Se solicita a los alumnos una representación gráfica de tipo icónica. Se les pide que realicen un esquema de lo que podrían “ver” a escala molecular en el caso de dos soluciones correspondientes a un ácido fuerte y a un ácido débil de la misma concentración.

Al igual que en los instrumentos 1 y 2, los conceptos que se ponen a prueba son muchos y de variados temas. Entre ellos se pueden mencionar los conceptos de: solución, concentración de las soluciones, molaridad, autoionización del agua, fuerza ácida (ácido fuerte y ácido débil) mencionados en el enunciado, y se podrían evaluar los conceptos de acidez (si dibujan iones hidronio en los frascos), relación estequiométrica de las reacciones (en qué proporción dibujan los reactivos y productos de la ionización), ácido fuerte y ácido débil (si dibujan los reactivos y productos de la ionización), equilibrio químico (en el frasco B, si es que ionizan parcialmente al ácido) y las especies presentes.

En el presente estudio interesa evaluar los conceptos de acidez, ácido fuerte y ácido débil y la relación de la acidez con la fuerza ácida y la concentración molar inicial o de preparación de las soluciones.

4) Dos frascos contienen  $1 \text{ dm}^3$  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, indique si las siguientes afirmaciones son correctas (C) o incorrectas (I):

Frasco A:

- a- En esta solución 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 esta solución 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- Al tratarse de una solución de un ácido fuerte, en esta solución 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 esta solución 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 esta solución 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 esta solución quedan moléculas de fluoruro de hidrógeno disueltas, pero en una cantidad menor que 0,1 mol.

Test expresado en registros simbólico verbal y específico.

En este instrumento se enuncia la misma situación que en los instrumentos 1, 2 y 3 en registro verbal y simbólico específico.

Es un test de opciones múltiples expresadas en registro simbólico verbal, que se pretende usar para la triangulación de resultados.

Al igual que en los instrumentos 1,2 y 3, los conceptos que se ponen a prueba son muchos y de variados temas. Entre ellos se pueden mencionar los conceptos de: solución, concentración de las soluciones, molaridad, fuerza ácida (ácido fuerte y ácido débil), el concepto de acidez, relación estequiométrica de las reacciones.

5) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tiene respecto de los **ácidos**.

a- Los ácidos son reconocidos por su sabor agrio y, por ejemplo, porque cambian a rojo el color del tornasol.

b- Los ácidos son sustancias hidrogenadas que producen protones  $H^+$  en agua.

c- Los ácidos son especies químicas moleculares o iónicas capaces de donar un protón  $H^+$  a otra sustancia.

d- No sé cuáles son las características de los ácidos.

**Teorías ácido-base.** Test expresado en registro simbólico verbal y específico.

Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a las teorías ácido-base.

Es un test de opciones múltiples.

Opción a: reconocimiento de los ácidos por sus características macroscópicas

Opción b: aceptación de la teoría de Arrhenius

Opción c: aceptación de la teoría de Bronsted y Lowry

Opción d: desconocimiento de las características de los ácidos

6) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tiene respecto de la **diferencia entre un ácido fuerte y un ácido débil**.

a- No existe diferencia alguna entre los ácidos fuertes y débiles.

b- Los ácidos fuertes son aquellos que se ionizan completamente y los ácidos débiles se ionizan parcialmente.

c- Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intramoleculares fuertes y los ácidos débiles presentan uniones débiles entre los átomos que forman la molécula.

d- Los ácidos fuertes son las soluciones de ácido concentradas y los ácidos débiles son las soluciones de ácido diluidas.

e- Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intermoleculares fuertes y los ácidos débiles presentan uniones débiles entre sus moléculas.

f- Los ácidos fuertes son los de mayor acidez y los ácidos débiles son de menor acidez.

g- No sé cuál es la diferencia entre un ácido fuerte y un ácido débil.

**Fuerza ácida.** Test expresado en registro simbólico verbal.

Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a la diferencia entre ácidos fuertes y débiles, teniendo en cuenta las concepciones alternativas indagadas en estudios anteriores (Callone et al., 2008; Alí et al., 2011; Callone y Torres, 2013).

Es un test de opciones múltiples.

Opción a: no existe diferencia

Opción b: correcta

Opción c: vinculación errónea entre el ácido fuerte y la unión intramolecular fuerte

Opción d: vinculación errónea entre el ácido fuerte y el ácido cuyas soluciones son más concentradas que las de los ácidos débiles

Opción e: vinculación errónea entre el ácido fuerte y la unión intermolecular fuerte

Opción f: vinculación errónea entre el ácido fuerte y las soluciones de mayor acidez

Opción g: desconocimiento de la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil

**Aclaración** El ítem a) está mal formulado semánticamente porque se pregunta por “la diferencia” (dando por sentado que existe una diferencia) y no por “la posibilidad de una diferencia”. Su formulación se basó en los resultados de un test que se tomó como prueba piloto o con carácter exploratorio en el cuál muchos alumnos dibujaron una porción submicroscópica de un ácido fuerte totalmente igual a la un ácido débil.

7) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tenga respecto de la **acidez** de una solución de un ácido.

a- La acidez es una medida de la concentración de ion hidronio en solución.

b- La acidez depende exclusivamente de la concentración inicial de una solución acuosa de un ácido.

c- La acidez es una medida solo de la fuerza ácida.

d- La acidez es una medida de la concentración de una solución acuosa de un ácido y de la fuerza ácida simultáneamente.

e- No sé qué se entiende por acidez.

**Acidez.** Test expresado en registro simbólico verbal.

Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a la acidez, teniendo en cuenta las concepciones alternativas indagadas en estudios anteriores (Callone et al., 2008; ; Alí et al., 2011; Callone y Torres, 2013)

Es un test de opciones múltiples.

Opción a: correcta

Opción b: vinculación errónea con la concentración

Opción c: vinculación errónea con la fuerza ácida

Opción d: correcta con explicitación de la dependencia de la concentración inicial del ácido y su fuerza ácida

Opción e: desconocimiento del concepto de acidez

8) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tenga respecto del **pH**

a- El pH de una solución de un ácido fuerte siempre es menor que el de una solución de ácido débil.

b- Si el valor de  $K_a$  de un ácido débil es mayor que el  $K_a$  de otro ácido débil entonces su pH resultará siempre menor que el pH del segundo ácido.

c- El pH es una medida solo de la fuerza ácida.

d- El pH es una medida de la acidez de una solución acuosa.

**Acidez, pH.** Test expresado en registro simbólico verbal y específico.

Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a la acidez y pH teniendo en cuenta las concepciones alternativas indagadas en estudios anteriores (Callone et al., 2008; ; Alí et al., 2011; Callone y Torres, 2013)

Es un test de opciones múltiples.

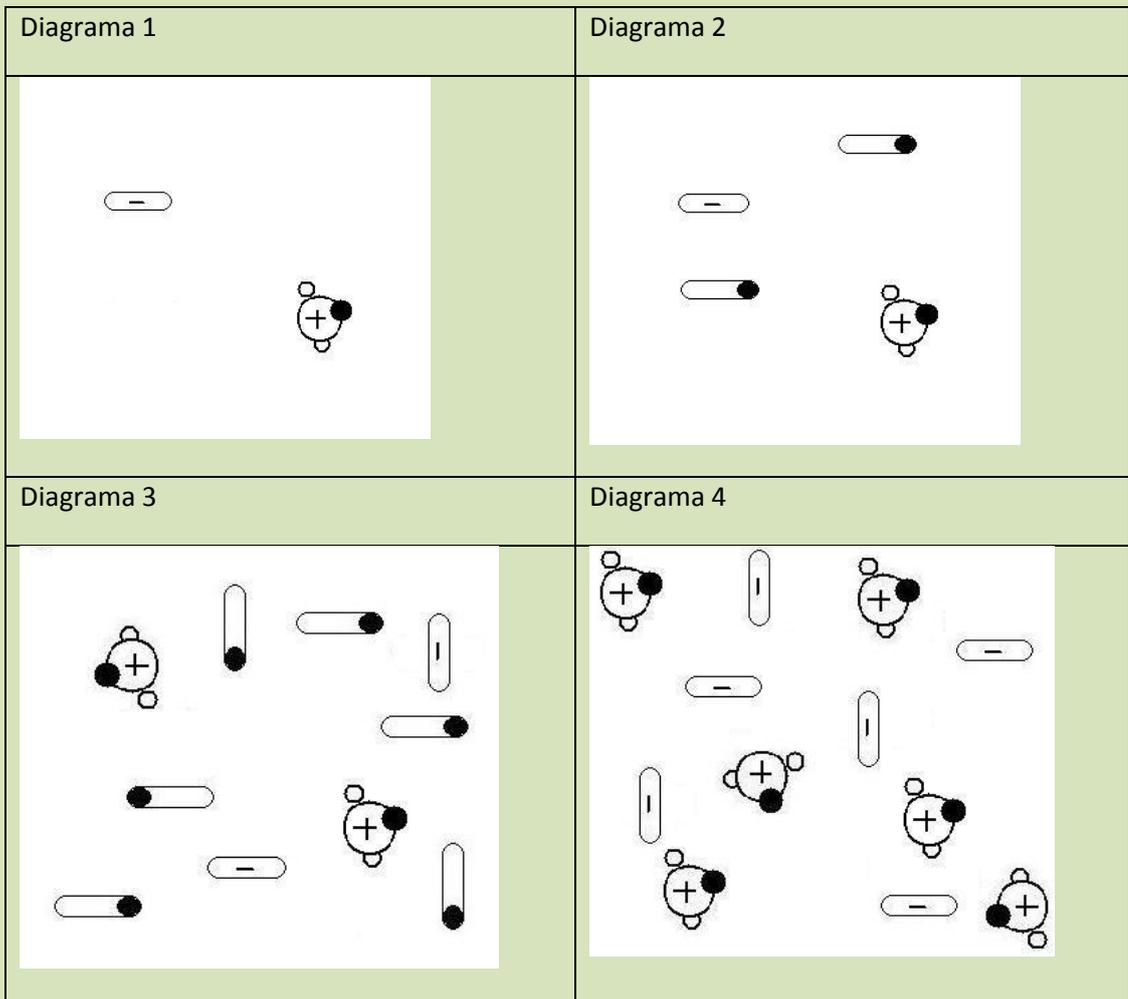
Opción a: respuesta errónea, solo muestra la relación de la acidez con la fuerza del ácido, pero no con la concentración inicial

Opción b: respuesta errónea, solo muestra la relación de la acidez con la fuerza del ácido, pero no con la concentración inicial

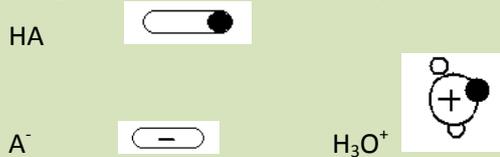
Opción c: respuesta errónea, solo muestra la relación de la acidez con la fuerza del ácido, pero no con la concentración inicial

Opción d: correcta con explicitación de la dependencia de la concentración inicial del ácido y su fuerza ácida

9) Los siguientes diagramas tratan de representar, a nivel submicroscópico o molecular, soluciones de ácidos. No se han representado las moléculas de agua ni los iones hidronio e hidróxido provenientes de su autoionización para simplificar el dibujo.



El significado de las distintas figuras que aparecen en los diagramas es el siguiente:



Indique con el número del diagrama aquel o aquellos que representan a:

- a) la o las soluciones de ácidos fuertes. ....
- b) la solución de mayor concentración. ....
- c) las soluciones que tienen la misma acidez. ....
- d) la solución de mayor acidez. ....

Antecedentes: Alí y otros (2012)

Test expresado en registros simbólico verbal e icónico.

Se solicita a los alumnos la identificación de diferentes soluciones con el número de diagrama correspondiente.

En este instrumento se muestran cuatro representaciones icónicas del nivel submicroscópico de cuatro soluciones ácidas.

El diagrama 1 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado), es la de menor concentración inicial (proviene de una partícula de reactivo), tiene la misma acidez que la solución del diagrama 2 y junto con ella son las de menor acidez (un ion hidronio).

El diagrama 2 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado) de concentración inicial intermedia (proviene de tres moléculas de reactivo) y tiene la misma acidez que la solución del diagrama 1.

El diagrama 3 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado), es la de mayor concentración inicial (proviene de ocho partículas de reactivo) y tiene una acidez intermedia (dos iones hidronio).

El diagrama 4 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado) y corresponde a la solución de mayor acidez (mayor número de iones hidronio representados).

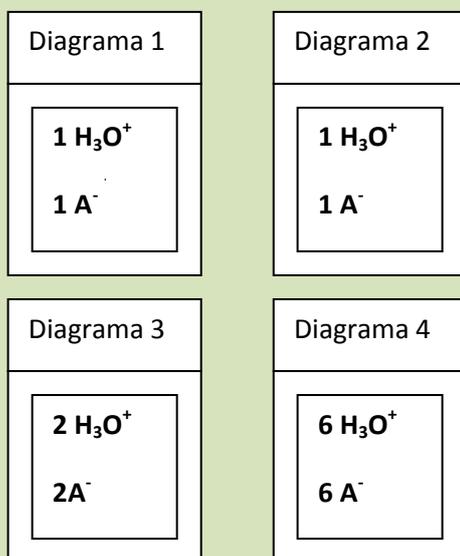
Las representaciones icónicas utilizadas consisten en más de una partícula de por lo menos una de las especies (excepto en el diagrama 1, que se ha representado una mínima concentración de un ácido fuerte), en ellas se muestra la conformación de las partículas y se explicitan las referencias de cada ícono diferente.

Con este instrumento se pretende indagar acerca de los conceptos de fuerza ácida (ítem a), de concentración (ítem b) y también de acidez (ítems c y d).

Las respuestas correctas se indican en la siguiente tabla

Ítem	Consigna	Respuesta Correcta
a)	la o las soluciones de ácidos fuertes	1 y 4
b)	la solución de mayor concentración	3
c)	las soluciones que tienen la misma acidez	1 y 2
d)	la solución de mayor acidez	4

9 bis) En los siguientes diagramas se representa la composición de una porción submicroscópica o molecular de distintas soluciones de ácidos, en los que se han omitido las moléculas de agua y los productos de su autoionización.



Indique con el número del diagrama aquel o aquellos que representan a:

- a) la o las soluciones de ácidos fuertes. ....
- b) la solución de mayor concentración. ....
- c) las soluciones que tienen la misma acidez .....
- d) la solución de mayor acidez. ....

Es un instrumento expresado en registro simbólico.

En este instrumento se muestran representaciones simbólicas del nivel submicroscópico de cuatro soluciones ácidas. Estas representaciones simbólicas no son las representaciones convencionales que se utilizan en química. Los números que se escriben delante de cada fórmula indican, en este caso en particular, la cantidad de cada una de esas especies presentes en una porción submicroscópica de cuatro soluciones. En este aspecto cuantitativo, comparte la información que brinda una representación icónica. No muestra la conformación de las partículas ni la distribución espacial de las mismas. Este instrumento sería semejante en el aspecto conceptual al instrumento 9 y la única diferencia consiste en que no se han dibujado las partículas de las especies presentes, sino que se las ha simbolizado.

Se solicita a los alumnos la identificación de diferentes soluciones con el número de diagrama correspondiente.

En este instrumento se muestran cuatro representaciones simbólicas del nivel submicroscópico de cuatro soluciones ácidas.

El diagrama 1 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado), es la de menor concentración inicial (proviene de una partícula de reactivo), tiene la misma acidez que la solución del diagrama 2 y junto con ella son las de menor acidez (un ion hidronio).

El diagrama 2 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado) de concentración inicial intermedia (proviene de tres moléculas de reactivo) y tiene la misma acidez que la solución del diagrama 1.

El diagrama 3 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado), es la de mayor concentración inicial (proviene de ocho partículas de reactivo) y tiene una acidez intermedia (dos iones hidronio).

El diagrama 4 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado) y corresponde a la solución de mayor acidez (mayor número de iones hidronio representados).

Es importante recalcar que este tipo de representación no es utilizada por los químicos, ni se presenta en la bibliografía, ni suele ser utilizada por los profesores.

Con este instrumento se pretende indagar acerca de los conceptos de fuerza ácida (ítem a), de concentración (ítem b) y también de acidez (ítems c y d).

Las respuestas correctas se indican en la siguiente tabla

Ítem	Consigna	Respuesta Correcta
a)	la o las soluciones de ácidos fuertes	1 y 4
b)	la solución de mayor concentración	3
c)	las soluciones que tienen la misma acidez	1 y 2
d)	la solución de mayor acidez	4

## Selección de grupos

Se establecerían dos grupos constituidos por alumnos regulares de la asignatura Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires. El **grupo de control** (GC) consistiría en alumnos que participen de los procesos de enseñanza y aprendizaje de acuerdo a la modalidad establecida por la cátedra. El **grupo experimental** (GE) sería aquel al que se le aplicaría el tratamiento experimental consistente en innovar la enseñanza con respecto al empleo de representaciones semióticas, que son utilizadas escasamente en la propuesta de la cátedra.

## El momento de la experiencia

La experiencia se podría dividir en 2 grandes etapas. La primera, desde el comienzo del año lectivo hasta la clase en que se iniciara la secuencia equilibrio ácido-base (última unidad del programa). La otra etapa transcurrió desde el comienzo de la secuencia de equilibrio ácido-base, hasta la finalización del tema.

Durante la primera etapa, esta investigadora implementó con sus alumnos la nueva modalidad de enseñanza ya mencionada, haciendo uso de otras representaciones semióticas adicionales a las indicadas por la cátedra. Al mismo tiempo, se trabajaron las relaciones entre los niveles macro y submicroscópico de la materia, y se diagnosticaron y trabajaron en clase las ideas previas de los alumnos. A partir de los alumnos de esta comisión o curso se establecería el grupo experimental.

En esta instancia también se seleccionó el curso de alumnos a partir del cual se constituiría el grupo de control. Los criterios utilizados para la selección de este curso fueron los siguientes:

- Se buscó a un docente, por su calidad de experto, que instruyera a sus alumnos por el método tradicional
- Se buscó un docente que accediera a que esta investigadora estuviera observando sus clases durante la secuencia ácido-base
- Se tuvieron en cuenta cuestiones de accesibilidad y disponibilidad horaria de todas las partes
- Se decidió que ambos grupos fueran de una misma sede geográfica del CBC, para unificar posibles diferencias socio-culturales

Hacia fines de la primera etapa, y después del primer parcial de la materia, se impartió **la encuesta** en los 2 grupos de alumnos. Esta encuesta, como ya se mencionó anteriormente, permitiría conocer algunas características de los alumnos para ser utilizadas en el emparejamiento de los grupos.

Si bien se partió de un total de 27 alumnos pertenecientes a la comisión 1 en la que se innovó en la enseñanza y que realizaron la encuesta, solamente 19 alumnos estuvieron presentes y completaron todos los test a lo largo de esta investigación. Los restantes 8 alumnos se autoexcluyeron del grupo por sus

inasistencias los días en los cuales se llevaron a cabo las evaluaciones. Estos **19** alumnos constituyeron lo que se denomina grupo 1 o grupo experimental.

Con respecto al curso que funcionó como control, sobre 52 alumnos (comisión 2) que realizaron la encuesta, y debido a un alto ausentismo a clases, solo 28 completaron todos los incisos de los sucesivos test de esta investigación. Estos 28 alumnos constituyeron lo que se denominó grupo 2, que luego del emparejamiento de grupos constituyó el grupo control consistente en **20** alumnos.

La segunda etapa comenzó con la **recolección de datos** (test tomados a los alumnos) y la **observación de clases** de la secuencia equilibrio ácido-base en ambas comisiones.

Mientras que en la primera etapa el GE “estuvo a cargo” de esta investigadora, en esta nueva etapa, como se mencionó previamente, y para darle mayor objetividad al estudio, otro docente tomó a su cargo el curso. Este docente, que es además el coordinador de la sede geográfica del CBC donde se llevó a cabo la investigación, dictó las 4 clases del tema equilibrio ácido-base.

Este docente planificó y dictó sus clases de acuerdo a sus criterios, pero teniendo en cuenta los 3 ejes de la propuesta innovadora: la incorporación de representaciones externas gráficas, la vinculación de los aspectos macro y submicrocópicas de la materia y el tratamiento reflexivo de las ideas previas de los alumnos.

Esta segunda etapa culminó con la toma del post-test a los alumnos de ambas comisiones.

## Observaciones de clases

Se realizaron **observaciones de clases** prestando especial atención al empleo de las representaciones semióticas que utilizó el profesor y al modo en que las utilizó. Se realizó una observación de toda la secuencia didáctica (4 clases) en cada uno de los grupos. Se **registraron** todas las representaciones realizadas por los profesores en el pizarrón y las aclaraciones que ellos efectuaron de forma oral.

Esta investigadora pues, ha observado las clases de dos docentes expertos, uno dictando las clases de acuerdo a las costumbres de la cátedra, y otro implementando una metodología de enseñanza innovadora. *Los registros se hicieron sobre papel y en archivos de grabador.*

*Las observaciones de clases se realizaron con la finalidad de constatar las características de la enseñanza tradicional e innovadora que se dieron por hecho durante el lapso de tiempo del diseño.*

## Enseñanza innovadora

En esta sección se presenta una descripción basada en la observación de clases.

✚ Respecto de las representaciones semióticas utilizadas:

Durante toda la secuencia didáctica correspondiente al tema equilibrio ácido-base, el profesor ha utilizado representaciones simbólicas lingüísticas ordinarias y específicas, simbólicas específicas, gráficas, tanto imágenes para ilustrar el aspecto macroscópico de la materia y los fenómenos,

como representaciones gráficas del nivel submicroscópico (molecular). Las representaciones se expusieron mediante presentaciones Power Point, y simulaciones realizadas con el simulador COCODRILE.

➤ Respecto de los recursos tecnológicos utilizados:

Para ambas proyecciones se utilizaron la computadora personal del docente y el cañón proyector.

✚ Respecto de los problemas-ejercicios resueltos en clase:

Se resolvieron dos problemas dictados por el profesor, uno de ellos correspondiente al cálculo de pH a partir de la concentración molar de iones hidronios, y el otro correspondiente al cálculo de la concentración molar de la solución de un ácido fuerte a partir del pH.

Luego se resolvieron los ejercicios de la guía inicializados con el número 7 y de los modelos de 2° parcial, también presentados en la guía, en el orden en que se indica a continuación:

25-g, 25-i, 25-j, 11,12-a, 12-b, 14-d, 14-e, 15, ,19-a, 19-b, 27, 28, 33, 38, 41, 35, 37, 10 del modelo de 2° parcial, 9 del mismo modelo y 10 del modelo de parcial siguiente.

✚ Respecto de la experimentación realizada en clase:

El profesor comprobó experimentalmente la situación planteada en el ejercicio 19 a y b. “El pH no depende del volumen de solución en el que se mida, siempre y cuando esta solución tenga la misma concentración inicial” y “El pH cambia por dilución y en particular, para el ácido, aumenta”.

El profesor señaló en más de una oportunidad el rótulo de la etiqueta de una botella de HCl 0,1M.

✚ Respecto de la explicitación y tratamiento de las concepciones alternativas:

Refiriéndose a la concepción alternativa de que “los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intramoleculares fuertes”, el profesor teatralizó la situación para un ácido fuerte sujetando un borrador con su mano y solicitándole a un alumno que se lo quitara. De esta manera, el profesor logró ilustrar por analogía que en el ácido fuerte las uniones intramoleculares son débiles al dejar que el alumno retire el borrador con facilidad.

➤ Respecto de las simulaciones presentadas en la última clase del tema:

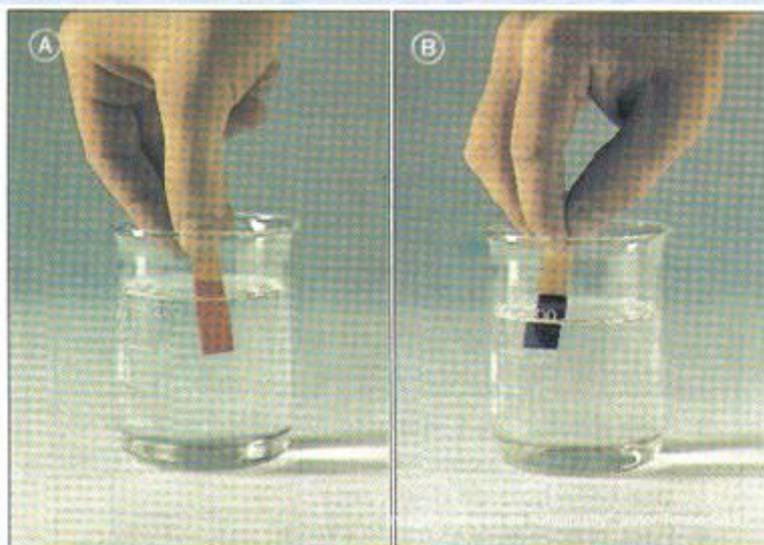
El profesor presentó mediante el programa COCODRILE, simulaciones que muestran representaciones gráficas, tanto del nivel macroscópico como submicroscópico de la materia; y simbólicas, para las soluciones acuosas de concentración 1M de los siguientes solutos: HCl, NaOH, NH<sub>3</sub>, NaCl, NaCH<sub>3</sub>COO y NH<sub>4</sub>Cl. Con estas simulaciones se pudieron observar:

- las coloraciones que tomaron las soluciones ácidas y básicas frente a los indicadores (nivel macroscópico),

- representaciones gráficas y simbólicas de las especies presentes en las soluciones, (nivel submicroscópico).
- Las diapositivas utilizadas en la primera clase de la secuencia didáctica de equilibrio ácido-base fueron:



## Prueba con Tornasol

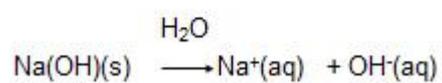
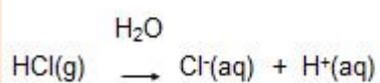
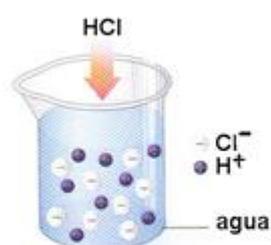


SOLUCIÓN ÁCIDA

SOLUCIÓN BÁSICA

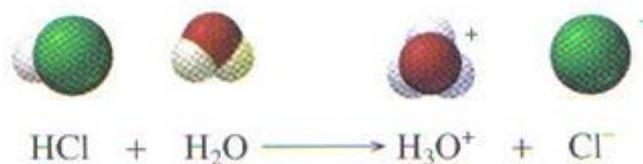
Diapositiva 2- Representaciones gráficas del nivel macroscópico, y simbólicas lingüística

## Teoría de Arrhenius



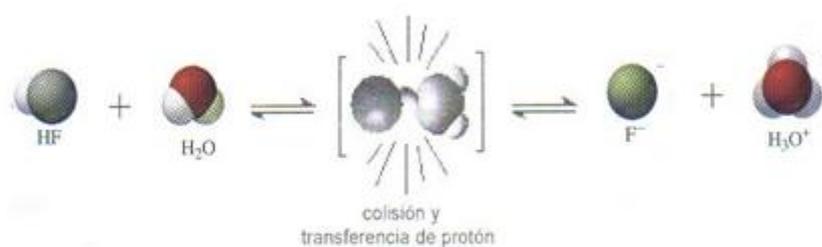
Diapositiva 3- Representaciones gráficas del nivel sub-microscópico, macroscópico, y simbólicas lingüística y específica

## Teoría de Brønsted y Lowry



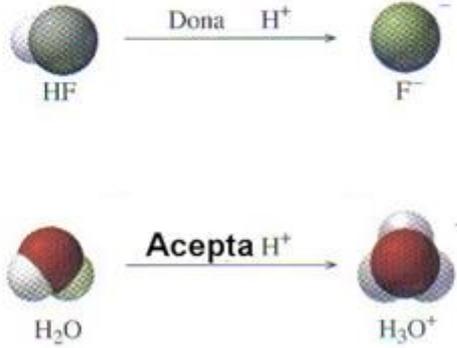
Diapositiva 4- Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas específica

## Ácido débil



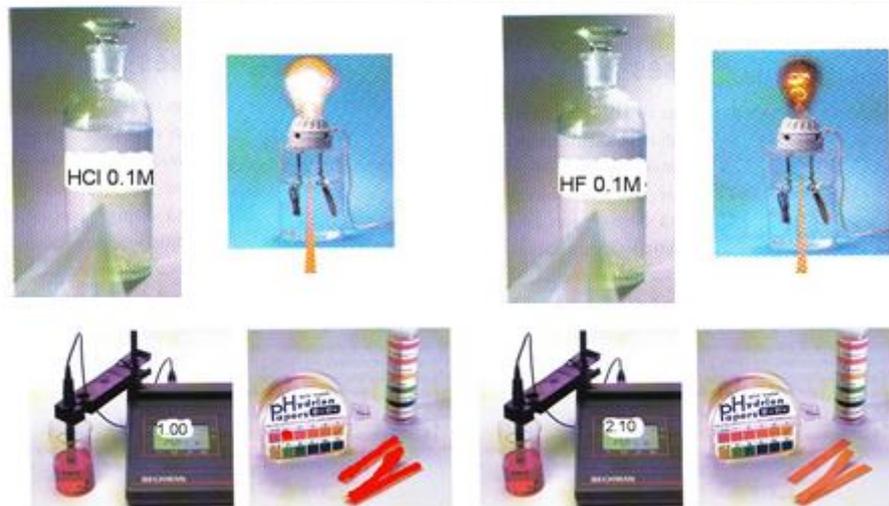
Diapositiva 5- Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas lingüística y específica

## Pares ácido-base conjugados



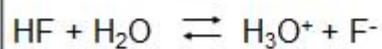
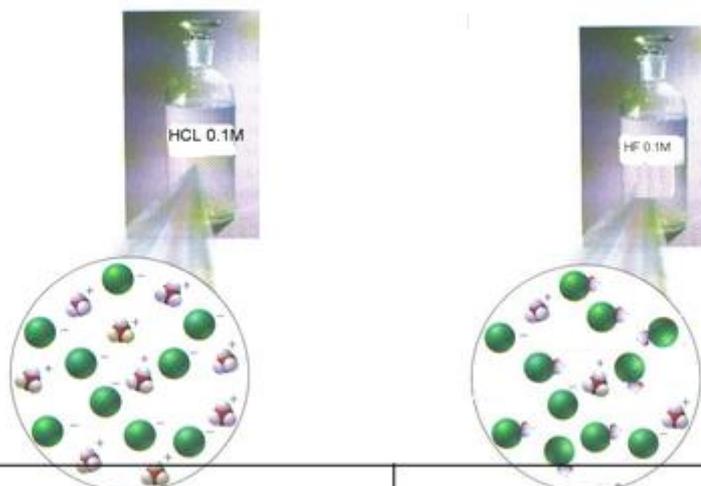
Diapositiva 6- Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas lingüística y específica

## Ácidos fuertes y débiles Diferencias macroscópicas



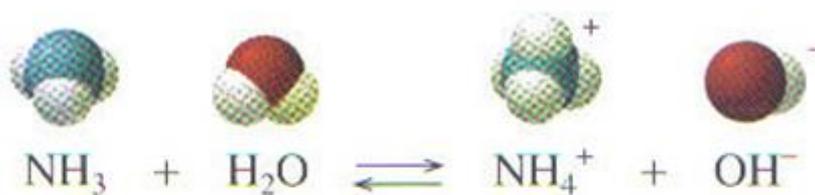
Diapositiva 7- Representaciones gráfica del nivel macroscópico, y simbólicas específica

### Tres niveles de representación



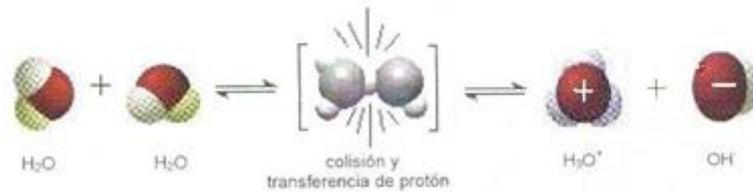
Diapositiva 8- Representaciones gráficas del nivel sub-microscópico, macroscópico, y simbólicas específica

### Base débil



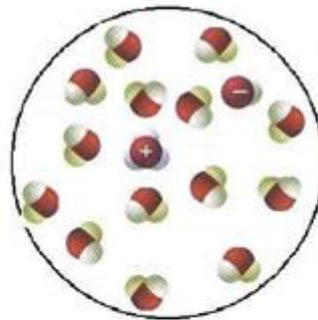
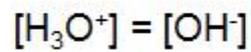
Diapositiva 9- Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólica específica

## Autoionización del agua



Diapositiva 10- Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas lingüística y específica

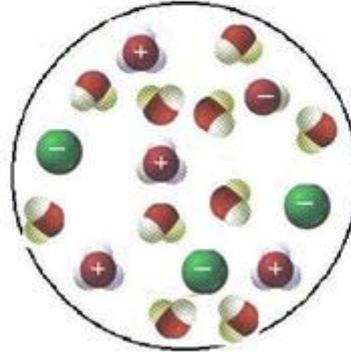
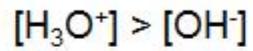
## Condición de neutralidad



La concentración molar de los iones hidronio es igual a la concentración molar de los iones hidróxido de la solución

Diapositiva 11- Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas lingüística y específica

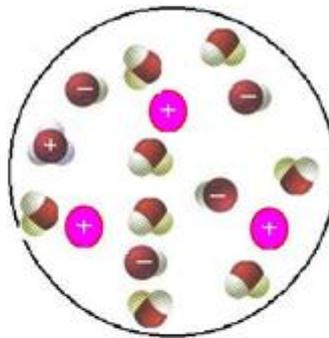
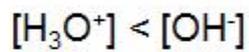
## Solución ácida



La concentración molar de los iones hidronio es mayor que la concentración molar de los iones hidróxido de la solución

**Diapositiva 12-** Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas lingüística y específica

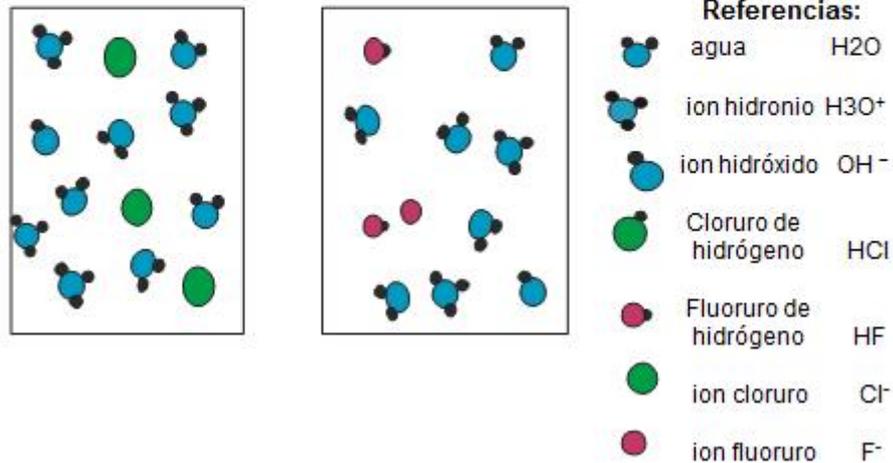
## Solución básica



La concentración molar de los iones hidronio es menor que la concentración molar de los iones hidróxido de la solución

**Diapositiva 13-** Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas lingüística y específica

## Diferencias entre HCl (ácido fuerte) y HF (ácido débil) desde un punto de vista submicroscópico



**Diapositiva 14- Representaciones gráfica del nivel sub-microscópico, y simbólicas lingüística y específica**

Resumiendo: se incorporaron a las clases representaciones gráficas, tanto de los niveles macroscópicos como submicroscópicos de la materia. Estas representaciones incorporadas en el aula se mostraron a través de presentaciones power point y de simulaciones realizadas con el “cocodrile”. Para ambas proyecciones se utilizaron otros recursos tecnológicos, como los son las computadoras personales y el cañón proyector.

Con el objetivo de favorecer la comprensión, se realizaron además dos experimentos referidos al tema ácido - base, de forma demostrativa en el aula.

El núcleo central de esta innovación se podría decir que es el abordaje de los niveles macro y submicroscópico de la materia, mediante representaciones semióticas de escasa utilización en la enseñanza tradicional, haciendo uso de las nuevas tecnologías. Complementa esta nueva estrategia el “tratamiento” de las concepciones alternativas. Se llevaron a cabo actividades de explicitación y reflexión referidas a las concepciones alternativas conocidas a partir de los resultados de investigaciones previas (Callone et al, 2008) como de la bibliografía específica (Taber K.,2002 y Hans-Dieter Barke et al., 2010).

Algunas características de la enseñanza tradicional de Química del CBC son las siguientes:

- No se utilizan representaciones semióticas gráficas, ni imágenes, ni esquemas gráficos
- No se suelen establecer conexiones entre los niveles submicroscópico (molecular) y macroscópico de la materia y sus interacciones
- No se los interpela, ni interroga; no se hacen evaluaciones de diagnóstico. En consecuencia, no se suele prestar especial atención a los conocimientos previos que traen los alumnos a las clases.

En esta sección se presenta una descripción basada en la observación de clases.

- ✚ Respecto de las representaciones semióticas utilizadas.

Durante toda la secuencia didáctica correspondiente al tema equilibrio ácido-base, el profesor ha utilizado representaciones simbólicas específicas, con la excepción de dos representaciones gráficas del nivel macroscópico de la materia con las que representó dos situaciones problemáticas correspondientes a la dilución de una solución ácida y de otra solución básica.

- ✚ Respecto de los problemas-ejercicios resueltos en clase

Se resolvieron cuatro problemas -dictados por el profesor- de cálculo de pH para dos ácidos fuertes de diferentes molaridades iniciales, uno para una base fuerte y otro para calcular la concentración molar de iones hidróxido a partir del pOH de la solución.

Luego se resolvieron los ejercicios de la guía inicializados con el número 7 en el orden en que se presenta a continuación:

6, 11, 12, 14-e, 16, 17, 20, 23, 25, 26, 28, 30, 31, 34-a, 34-b, 35, 37, 44, 45 y 46

## Tabla comparativa entre ambos tipos de enseñanza

	<i>Enseñanza innovadora</i>	<i>Enseñanza tradicional</i>
<i>Representaciones semióticas expuestas en el pizarrón</i>	<i>Lingüísticas, simbólicas específicas y gráficas</i>	<i>Simbólica</i>
<i>Representaciones del nivel macroscópico</i>	<i>Si (imágenes y esquemas)</i>	<i>Si (esquemas)</i>
<i>Representaciones del nivel submicroscópico</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>Recursos tradicionales</i>	<i>Pizarrón y tiza</i>	<i>Pizarrón y tiza</i>
<i>Recursos tecnológicos</i>	<i>Computadora personal y cañón proyector</i>	<i>Ninguno</i>
<i>Software</i>	<i>Powerpoint, Cocodrile</i>	<i>Ninguno</i>
<i>Ejercicios propuestos por el profesor</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>Ejercicios de la guía</i>	<i>21</i>	<i>20</i>
<i>Experimentación en clase</i>	<i>2, demostrativas</i>	<i>ninguna</i>
<i>Explicitación y tratamiento de concepciones alternativas</i>	<i>2 casos: Teatralización por analogía. Muestra el rotulo de las soluciones indicando su significado.</i>	<i>Ninguna</i>
<i>Tratamiento de los ejercicios</i>	<i>A modo de situación problemática</i>	<i>Para fijar el algoritmo</i>
<i>Vinculación entre nivel macro y submicroscópico</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>Conversión entre diferentes tipos de representaciones</i>	<i>Simbólica específica – Lingüística - Gráficas de los niveles macroscópicos y submicroscópicos</i>	<i>Simbólica específica – Lingüística - Gráficas de los niveles macroscópicos</i>

## Recolección de datos

Se impartió la **encuesta**, el **test de pre-requisitos** y el **pre-test** antes del comienzo de la secuencia didáctica estudiada.

Se impartió el **post-test** dos clases después de la finalización del tema. Cada inciso de este instrumento se imprimió en hojas diferentes y se repartió secuencialmente desde el inciso 1 al 9bis, de tal modo que cuando cada alumno finalizaba un inciso, recién entonces se le entregaba la consigna del siguiente. De esta forma las consignas de los incisos siguientes no condicionarían la respuesta dada en los incisos anteriores.

Los datos, del test de pre-requisitos, del pre-test y del post-test, se han volcado en planillas Excel y se han trabajado mediante fórmulas lógicas y de búsqueda.

Para cada instrumento del test de pre-requisito, pre-test y post-test se cuantificaron las repuestas correctas.

Se realizó una comparación entre los dos grupos atendiendo a:

- la identificación de los ácidos a partir de sus fórmulas (representación simbólica específica)
- la representación que tienen los alumnos de una solución con soluto molecular y de una solución con soluto iónico
- la aplicación del concepto de concentración molar
- la representación que tienen los alumnos de un sistema que se encuentra en equilibrio
- Las concepciones alternativas en el tema de equilibrio químico
- la preferencia de un registro semiótico sobre otro
- una misma interpretación de las consignas expresadas en diferentes registros
- la comprensión conceptual y/o de la situación presentada en algunos de los instrumentos
- los errores arraigados
- el tipo de representación formulada por los alumnos
- los modelos conceptuales que presentaron los alumnos
- la comprensión de los conceptos de concentración, fuerza ácida y acidez

Para ello se establecieron criterios de análisis de los resultados, en particular:

- el análisis comparativo de los incisos 1 y 2 del post-test desarrollando la categoría de respuestas congruentes
- el análisis del inciso 3 del post-test, reformulando una categoría de modelos conceptuales presentada con anterioridad
- el análisis comparativo 1,2,3 del post-test utilizando la categoría de respuestas congruentes
- el análisis comparativo de los incisos 1, 2 y 3 del pre-test con los 5, 6, 7 y 8 del post- test
- el análisis comparativo del inciso 9 y 9bis

La comparación de los datos arrojados por el pre-test y post-test se efectuó con el objetivo de identificar concepciones erróneas de los alumnos acerca de la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil, y el concepto de acidez. Se estableció un criterio para saber cuáles de los errores se logran cambiar, cuáles se generan y cuáles no se logran cambiar durante los procesos de enseñanza y de aprendizaje.

Los criterios de análisis se presentan de manera detallada en el capítulo de Análisis de los resultados.

Las relaciones cuantitativas en que se expresan los resultados se tuvieron en cuenta a fin de orientar un análisis interpretativo.

En cierto grado, el estudio estuvo destinado a verificar que la introducción de esta nueva modalidad de enseñanza propuesta genera una mayor comprensión conceptual del tema, aunque **sin pretensiones de generalizar los resultados a otros grupos**. Mediante esta investigación también se pretendió, desde una lógica cualitativa, correlacionar algunos errores que cometieron los alumnos con las representaciones utilizadas en clase y establecer categorías de análisis de dichos errores que permitieran comprender mejor de qué manera piensan nuestros alumnos, cuáles son sus modelos mentales y cuáles son los posibles obstáculos para la comprensión.

La aplicación de instrumentos con distintas características permite llevar a cabo una triangulación intermetodológica (Taylor y Bodgan, 1996), a la cual se recurre con el propósito de validar las conclusiones obtenidas.

## Capítulo 5: Análisis de los resultados

---

## Introducción.

En este capítulo se muestran los datos recolectados y el análisis efectuado a partir de ellos. Los porcentajes que se han calculado se hicieron al solo efecto de establecer o mostrar la diferencia entre los grupos.

El primer análisis efectuado consistió en el emparejamiento de los grupos a partir de los datos relevados en la encuesta con el objetivo de lograr dos grupos equivalentes: grupo experimental en adelante GE y grupo de control en adelante GC. GE resultó ser un grupo intacto de 19 alumnos y el GC, constituido por 20 alumnos.

El segundo análisis se efectuó sobre los datos recogidos a partir del test de pre-requisitos del tema ácido-base, test que consiste en 4 incisos correspondientes a los temas de **Simbología, Soluciones y Equilibrio químico**. Se realizó una comparación entre los dos grupos atendiendo a:

- la identificación de los ácidos a partir de sus fórmulas (representación simbólica específica)
- la representación que tienen los alumnos de una solución con soluto molecular y de una solución con soluto iónico
- la aplicación del concepto de concentración molar
- la representación que tienen los alumnos de un sistema que se encuentra en equilibrio
- Las concepciones alternativas en el tema de equilibrio químico

Esta evaluación se tomó con el objetivo de constituir una primera puesta a prueba de esta nueva metodología de enseñanza. A partir de dicho análisis, y como era de esperar, se pudo comprobar que **los alumnos del GE obtuvieron mejores resultados** al indagar en sus conocimientos:

- con diferentes tipos de representaciones externas (simbólica, icónica, verbal, combinación de sendos tipos de representaciones)
- sobre diferentes aspectos (cualitativo y cuantitativo)
- con respecto a los niveles de representación del fenómeno (sub-microscópico, macroscópico, una superposición de niveles y una combinación de niveles)

Se verifica también, que los alumnos del GC son capaces de interpretar las consignas expresadas en registro gráfico-icónico referidas al nivel sub-microscópico de la materia. Este hecho es muy importante para el análisis de este estudio porque **se puede inferir que los alumnos del GC, aun sin haber sido instruidos en representaciones gráficas-icónicas, son capaces de interpretarlas.**

El tercer análisis fue el realizado a partir de los datos recolectados en cada uno de los incisos del pre-test y post-test, y permitió evaluar tanto el conocimiento previo de conceptos propios del tema ácido-base como la comprensión de los conceptos de acidez y de fuerza ácida. Esta evaluación se tomó con el objetivo de constituir una puesta a prueba definitiva de esta nueva metodología de enseñanza. Este tercer análisis se divide en dos partes:

- Análisis comparativo pre-test vs post-test de opciones múltiples
- Análisis de los restantes instrumentos del post-test

Mediante el **pre-test** se detectaron algunas ideas previas referidas a equilibrio ácido-base; algunas de ellas se consolidaron como teorías de dominio (Pozo Muncio y Gómez Crespo, 1998, p. 104) y otras se han logrado revertir en el proceso de enseñanza.

De la **comparación entre los incisos del pre-test y los del post-test** de opciones múltiples correspondientes a: las teorías ácido-base, la diferencia entre ácido fuerte y débil, y la acidez, se establecieron criterios para saber cuáles de los errores conceptuales cometidos por los alumnos se logran cambiar, se generan o son resistentes al cambio durante los procesos de enseñanza y de aprendizaje:

- ✚ Se **logran cambiar** durante los procesos de enseñanza y de aprendizaje: Si la respuesta a las opciones incorrectas aparece solo en el pre-test, esto implica que durante los procesos de enseñanza y de aprendizaje se logró cambiar la concepción errónea previa.
  - ✚ Se **generan** durante los procesos de enseñanza y de aprendizaje: Si la respuesta a la opción aparece solo en el post-test, esto implica que esta concepción (correcta o errónea) ha sido generada durante los procesos de enseñanza y/o de aprendizaje.
  - ✚ Son **resistentes al cambio**: Si la respuesta a la opción aparece en **ambos test**, esto implica que aun habiendo sido impartida la instrucción correspondiente, **no se logró cambiar la concepción previa** del alumno. Si las respuestas corresponden a ideas erróneas y no se han podido cambiar, podría decirse que estas ideas son resistentes al cambio, o que el tipo de enseñanza o el tipo de aprendizaje no sirvió para desarraigarlas. En tal caso podría tratarse de un error muy arraigado que podría ser considerado como una teoría de dominio.
- Se ha logrado cambiar la concepción errónea previa con respecto a:
    - que la acidez depende exclusivamente de la fuerza del ácido, en algunos alumnos del GE.
    - La relación entre los ácidos fuerte o débil y las uniones intramoleculares en mayor medida en el GE que en el GC: Se puede relacionar con la enseñanza en tanto que el profesor del GE teatralizó la situación para un ácido fuerte, sujetando un borrador con su mano y solicitando a un alumno que se lo quitara. De esta manera, el profesor logró ilustrar por analogía que en el ácido fuerte las uniones intramoleculares son débiles, al dejar que el alumno retire el borrador con facilidad.
  - Se ha generado en algunos alumnos del GC la concepción errónea “Los ácidos fuertes son las soluciones de ácido concentradas y los ácidos débiles son las soluciones de ácido diluidas”. Se observa también que se ha generado únicamente en los alumnos del GC. En este caso parece importante la forma de instrucción que ha recibido dicho grupo. También se evidencian, luego de los procesos de enseñanza y de aprendizaje, las concepciones erróneas acerca de que la acidez solo depende de la concentración inicial (esta concepción no estaba entre las ideas previas) y de que la acidez depende exclusivamente de la fuerza del ácido, en ambos grupos (se corrigió para algunos alumnos, como se mencionó anteriormente, pero en otros apareció en la instancia previa a la instrucción).
  - No se ha logrado cambiar la idea de que el ácido fuerte es el de mayor acidez; queda arraigada en el 30% de los alumnos del GC, pues como se dijo antes pareciera que hay “algo” en la instrucción que refuerza esta idea (ejemplo de cálculo de acidez de soluciones de igual concentración inicial). En caso del GE, el profesor refuerza la idea contraria a través de la proposición: “El ácido fuerte no necesariamente es el de mayor acidez”

Mediante el análisis del **post-test**, exceptuando los incisos de opciones múltiples,

I- A partir del análisis comparativo de los **incisos 1 y 2** del instrumento, que enuncian una misma situación expresada en diferentes registros semióticos, se estableció un criterio para medir:

- ✚ La **preferencia de un registro sobre otro**. Se realizó para ello la comparación entre las respuestas correctas dadas por los alumnos del GE y GC para cada uno de los cinco ítems de los incisos 1 y 2, que representan una misma situación, y que son solicitadas en diferentes registros semióticos, el simbólico y el verbal respectivamente.

Se encontró que los alumnos del GE contestan mejor que los del GC, y los alumnos del GC son los que muestran una marcada preferencia por un único registro, el simbólico.

- ✚ Una **misma interpretación** de las consignas expresadas en diferentes registros semióticos y la **formación** de dos representaciones, simbólica y verbal, congruentes con la situación planteada. Se utilizó para ello la **categoría de respuestas congruentes**. Se denomina respuesta congruente a las respuestas iguales en ambos registros, dadas por el mismo alumno. Esta categorización de respuestas fue ideada en una investigación previa, llevada a cabo en el marco de esta tesis, para la puesta a punto de los instrumentos diseñados, en la cual se trabajó con una muestra representativa de alumnos del CBC (Callone y Torres., 2013).
- ✚ La **comprensión conceptual** o de la situación a la que se refieren los incisos 1 y 2. Se utilizó para ello la **categoría de respuestas congruentes correctas**. Se llama respuesta congruente correcta a aquellas respuestas que además de ser congruentes son correctas.
- ✚ Los **errores conceptuales arraigados**. Para ello se utilizó la categoría de respuestas congruentes erróneas. Se llama respuesta congruente errónea a aquellas respuestas que además de ser congruentes son erróneas. O sea el alumno comete el mismo error para una misma situación formulada en dos registros semióticos diferentes. Interpreta bien la situación que se le presenta, pero comprende mal los conceptos y/o relaciones entre conceptos que se ponen en juego en la mencionada situación.

Se analizó todo el test en general y cada ítem en particular. A continuación se presentan los resultados procesados según las categorías anteriormente mencionadas, tanto para una muestra representativa de los alumnos del CBC analizada en el mencionado trabajo que se consideró como antecedente, (Callone y Torres, 2013), como para los grupos GE y GC. Los porcentajes son calculados sobre la base del total de respuestas de cada grupo.

<b>Categorías de respuestas</b>	<b>Muestra representativa</b> <i>Porcentaje sobre 695</i>	<b>Grupo Experimental</b> <i>Porcentaje sobre 95</i>	<b>Grupo Control</b> <i>Porcentaje sobre 110</i>
Congruentes	73%	72%	77%
Congruentes correctas	47%	59 %	49 %
Congruentes erróneas	26%	13 %	28 %
Incongruentes	23%	28 %	21%
No contesta	4%	0%	2%

Se observa que mientras los alumnos de GC interpretan como la misma situación aquella expresada en los registros simbólico y verbal, en mayor medida que los alumnos del GE, son los alumnos del GE los que comprenden mejor la situación recreada en los incisos 1 y 2 del instrumento. **El entendimiento o la interpretación de lo solicitado en los incisos 1 y 2 es condición necesaria para responder correctamente ambos test pero no alcanza para comprender.**

Una diferencia sustancial en los porcentajes de respuestas congruentes erróneas entre los grupos en cuestión indica la presencia de errores conceptuales arraigados más en el GC que en el GE (28% vs 13%).

Se observa también que mientras el GC presenta una notable semejanza en cuanto al tipo de respuestas con la muestra representativa del CBC, correspondiente a cursos en los cuales se imparte una enseñanza tradicional, los alumnos del GE se diferencian de ella.

A partir de un análisis pormenorizado por ítem se midió la comprensión de los conceptos de acidez y fuerza ácida y se detectaron errores arraigados vinculados con los mencionados conceptos.

Se revela en general una mayor comprensión y un menor número de errores arraigados en los alumnos del GE.

II- Del análisis del **inciso 3** que enuncia la misma situación que los incisos 1 y 2 pero solicita una representación icónica del nivel sub-microscópico del fenómeno, se estableció un criterio para ver:

- ✚ El **tipo de representación** formulada por el alumno. Para esto se tuvo en cuenta la categorización de representaciones descrita por Callone y otros (2008) que se muestra más adelante en la sección correspondiente a este análisis. Se observó una amplia dispersión en el tipo de representaciones del GC y un elevado porcentaje volcado a la representación R6 en el GE. La representación R6 es una representación icónica, con referencias, que muestra más de una partícula de por lo menos una de las especies de la solución y muestra además la conformación de las partículas, y que en el estudio mencionado fue la representación formada por la gran mayoría de los profesores encuestados.

Es importante destacar que solo un 15% de los alumnos del GC no hizo ningún tipo de representación. Consecuentemente, el 85% del GC formó algún tipo de representación, a pesar de que durante la instrucción no se profundizó ese aspecto representacional del fenómeno. Este resultado, junto con el escaso porcentaje de “no contesta” en los incisos 9 y 9 bis, es de suma importancia tanto para la validación de resultados obtenidos como en la comparación efectuada de los resultados de los incisos 1, 2 y 3.

- ✚ Los **modelos conceptuales** que mostraron los alumnos a través de sus representaciones. Para ello se reformuló la categorización en modelos conceptuales descrita en la mencionada publicación (Callone et al., 2008) y se agruparon a los alumnos según estos modelos.

Se agregó en esta oportunidad el concepto de acidez en la categorización de los modelos conceptuales.

En la siguiente tabla se ilustra la relación entre las representaciones, los modelos y los conceptos que se pueden ilustrar.

Representación	Modelo	Conceptos que se pueden ilustrar					
		Concentración	Fuerza ácida	Acidez	Ionización del agua	Electroneutralidad de la solución	Especies presentes
R0	M0	No	No	No	No	No	No
R2	M1	Si	No	No	No	No	No
R1, R4, R7	M2	No	Si	No	Si	No	Si
R3, R5, R6	M3	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Se observa que la gran mayoría de los alumnos del GE utilizan el modelo M3, un modelo mucho más completo que los restantes ya que mediante él se pueden ilustrar todos los conceptos mencionados y sus relaciones. Este modelo da cuenta de un conocimiento más robusto y coherente, en contraste con un conocimiento frágil e incompleto. Esta preferencia sería el resultado de una instrucción en la cual se ha mostrado distintos tipos de representaciones.

- La **comprensión** de algunos conceptos: Se han determinado las respuestas correctas de todos los conceptos que se ponen en juego en la situación presentada en el inciso 3 y que se pueden ilustrar con las representaciones solicitadas a los alumnos. Puede verse el análisis completo en la sección correspondiente.

En la siguiente tabla se detallan tanto la distribución en modelos como las respuestas correctas a los conceptos de concentración, fuerza ácida y acidez.

Modelo	Concentración		Fuerza ácida		Acidez	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
M2	No	No	0	2	No	No
M3	3	4	13	2	9	0
Total	3 16%	4 20%	13 68%	4 20%	9 47%	0

El concepto de fuerza ácida puede analizarse comparativamente en ambos grupos ya que se puede evaluar tanto en el modelo M2 como M3. La representación correcta del ácido fuerte totalmente ionizado y del ácido débil parcialmente ionizado es realizada por una amplia mayoría del GE y no ocurre lo mismo con el GC.

El análisis pormenorizado de este inciso del instrumento permitió evaluar no solo los conceptos sino las **relaciones entre conceptos**. Solo dos alumnos, el **10%**, del GE y ninguno del GC establecen en sus representaciones la **relación correcta** o adecuada entre los conceptos de acidez, concentración y fuerza ácida.

- Los **errores** encontrados: La siguiente tabla da cuenta de los errores que se pudieron advertir, de la forma de detectarlos y de cuál o cuáles son los modelos que habilitan la detección de tales ideas erróneas.

Idea errónea	Lo que se representa y que permite detectar la idea errónea	Modelo que permite la detección del error
La acidez es función únicamente de la concentración inicial	Cantidad de iones hidronio en el frasco A es igual a la del frasco B	M3
En el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos	Cantidad de iones fluoruro en el frasco B es igual a la cantidad de fluoruro de hidrógeno en el mismo frasco	M3
El ácido fuerte es el de mayor concentración	La suma de las cantidades de iones cloruro y cloruro de hidrógeno en el frasco A es mayor que la suma de iones fluoruro y fluoruro de hidrógeno en el frasco B	M1 y M3
Si el ácido es fuerte hay que poner menos cantidad para que presente la misma acidez	La cantidad de iones hidronio es la misma en ambos frascos mientras que la suma de las cantidades de iones cloruro y cloruro de hidrógeno en el frasco A es menor que la suma de iones fluoruro y fluoruro de hidrógeno en el frasco B	M1 y M3
No existe diferencia entre un ácido fuerte y uno débil	Igual representación	M1, M2 y M3

Un análisis pormenorizado revela las siguientes relaciones incorrectas (detectadas en el GE porque presentan en su mayoría un modelo, el M3, que permite identificarlas):

◆ El **26%** del GE hizo una representación que muestra que a igual concentración del ácido fuerte y débil, es igual la acidez, (Teoría de dominio: **“La acidez es función únicamente de la concentración inicial de la solución ácida y no lo es de la fuerza del ácido”**, presentada por Callone y Torres en 2013).

◆ El **37%** del GE de 19 alumnos se las ingenian “moviendo” ya sea aumentando o bajando la concentración inicial de las soluciones para que la concentración de hidronios (acidez) en el ácido fuerte sea mayor que en el débil. (Teoría de dominio: **“la acidez es mayor en el caso del ácido fuerte que en el caso del ácido débil, o sea, la acidez es independiente de la concentración inicial de la solución ácida”**). Este error se pudo validar como TD mediante la triangulación. Mediante este instrumento fue posible detectar este error que aparecía enmascarado en las respuestas correctas de los incisos 1 y 2, en el ítem a, referente a la acidez.

◆ El **37%** del GE representa fluoruros igual a fluorhídrico (Teoría de dominio: **“en el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos”** presentada por Callone y Torres en 2013).

III- Del análisis comparativo de los **incisos 1, 2 y 3**, la misma situación y tres representaciones distintas: simbólica, verbal e icónica respectivamente no se pudieron extraer conclusiones comparativas entre los alumnos del GE y GC debido al muy bajo porcentaje de alumnos del GC que representaron el modelo M3, pero sí se pudo conocer más a los alumnos del GE en cuanto a los mismos aspectos analizados con los incisos 1 y 2.

Con los mismos criterios mencionados en el análisis comparativo de los incisos 1 y 2 se determinó:

✚ La **preferencia de un registro sobre otro**. Se observa que el GE manifiesta una dispersión en su preferencia en cuanto al registro, o sea es multi-registro y no mono-registro; esto es consecuencia de la instrucción recibida por los alumnos de este grupo, que incluyó la utilización de representaciones externas realizadas en diferentes registros semióticos. Esta afirmación se

validó con las observaciones de clases efectuadas. El GC se reconoce con un aprendizaje mono-registro, que según Duval (1999) lleva a una comprensión limitada de lo aprendido, que puede ser valorada como aprendizaje efectivo al ser evaluada a corto plazo. El problema se presentaría cuando los conocimientos supuestamente aprendidos de manera efectiva son requeridos para ser usados en otro contexto diferente a aquel que se utilizó para llevar a cabo el aprendizaje, y que incluye registros semióticos diferentes. Cuando esto sucede, el estudiante no puede movilizar estos conocimientos. Es decir, no puede realizar transferencia alguna de los conocimientos aprendidos.

✚ **Una misma interpretación** de las consignas expresadas en diferentes registros semióticos, y la formación de tres representaciones simbólica, verbal e icónica congruentes con la situación planteada. Se observa que un elevado porcentaje del GE es consistente con su interpretación de la situación enunciada en los incisos 1, 2 y 3.

✚ La **comprensión conceptual** o de la situación a la que se refieren los tres incisos del instrumento. Se observa que la gran mayoría de los alumnos del GE que interpretan bien los tres incisos también comprenden bien, en particular, los conceptos de acidez y ácido fuerte como se muestra en la siguiente tabla con la comparación de los porcentajes de respuestas correctas.

Conceptos	Mayor comprensión	Ítem (% GE vs % GC)
Acidez	GE	a (44% vs 0%)
Ácido fuerte	GE	d (31% vs 0%)
Ácido débil	GE y GC	e (13% vs 13%)

✚ Los **errores conceptuales arraigados**

Se utilizó la categoría mencionada de respuestas congruentes erróneas, y los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Categorías de respuestas	GE <i>Porcentaje sobre 80</i>	GC <i>Porcentaje sobre 40</i>	Δ GE-GC
Congruentes	39%	11%	28%
Congruentes erróneas	4%	3%	1%

Los porcentajes han sido calculados sobre el total de respuestas que dio cada grupo.

Debido a que la muestra es muy pequeña, estos valores no deben tenerse en cuenta para sacar alguna conclusión con respecto a los errores arraigados. Este cuadro se expone con la única finalidad de ilustrar la lógica del análisis realizado. El análisis pormenorizado se puede ver en la sección correspondiente.

**IV-** De la comparación entre las respuestas dadas a los **incisos 9 y 9 bis**, se infiere que los alumnos de ambos grupos interpretan prácticamente en un mismo grado una misma situación expresada en dos registros gráficos diferentes, excepto en el ítem c (amplia diferencia entre los porcentajes de respuestas congruentes) y se revela una mayor comprensión en los alumnos del GE que en los del GC ya que para la totalidad de los ítems el porcentaje de respuestas congruentes correctas es superior para los primeros alumnos. Además, los elevados porcentajes de respuestas congruentes erróneas se estudiaron efectuando un análisis basado en un trabajo anterior (Alí et al., 2011). Este análisis permitió inferir

algunas concepciones alternativas que se utilizaron en la triangulación de errores y que se validaron como teorías de dominio.

**V- Se validó la comprensión de los conceptos de acidez y de fuerza ácida por triangulación con diferentes instrumentos que presentan situaciones diferentes en las cuales se ponen en juego los mismos conceptos.**

*Validar la comprensión consiste en verificar que las representaciones externas y sus relaciones, referidas a los conceptos en cuestión, que serían expresiones de un modelo mental, sean semejantes al modelo científico. Se encontraron pruebas suficientes para inferir que los alumnos del GE comprenden mejor que los alumnos del GC los conceptos de acidez y fuerza ácida. Paralelamente, el concepto de fuerza ácida se comprende mejor en ambos grupos que el concepto de acidez.*

**VII- Se validaron los errores conceptuales** referentes a la fuerza ácida y acidez por triangulación. Se establecieron como teorías de dominio algunas presentadas en trabajos anteriores (Callone y Torres, 2013), como lo son: **“El ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes”, “El ácido fuerte es el de mayor acidez”, “La acidez es función únicamente de la fuerza ácida y es independiente de la concentración inicial de la solución ácida”**. Mientras que en el GC se encontraron pruebas suficientes para afirmar que estos alumnos sostienen todas las ideas erróneas mencionadas, en el GE solamente se hace evidente la última de ellas.

## El momento del análisis comparativo

Los primeros avances del resultado de la encuesta que se ven a continuación muestran algunos aspectos relevados y evaluados en el momento de la selección de los grupos.

Aspectos relevados	Comisión 1	Comisión 2
Total del de alumnos encuestados	27	52
Distribución de notas del primer parcial de los alumnos encuestados en %:		
Menor que 4	19	35
Entre 4 y 6	52	44
Mayor que 6	30	21
% de recursantes en alumnos encuestados	78	60
% de alumnos que consultan bibliografía (de los alumnos encuestados)	67	42

En la comisión 1, en la que se innovó en la enseñanza, si bien se partió de un total de 27 alumnos que realizaron la encuesta, solamente 19 alumnos estuvieron presentes y completaron todos los test a lo largo de esta investigación. Los restantes 8 alumnos se autoexcluyeron del grupo por sus inasistencias los días en los cuales se llevaron a cabo las evaluaciones. Estos **19** alumnos constituyeron lo que se denomina grupo 1 o grupo experimental, GE.

Con respecto al curso que funcionó como control, sobre 52 alumnos (comisión 2) que realizaron la encuesta, y debido a un elevado ausentismo a clases, solo 28 completaron todos los incisos de los sucesivos test de esta investigación. Estos 28 alumnos constituyeron lo que se denominó grupo 2, que luego del emparejamiento de grupos se constituiría en el grupo control, GC, formado por **20** alumnos.

## Emparejamiento de grupos

El objetivo del emparejamiento de los grupos fue lograr grupos equivalentes. A diferencia de los grupos homogéneos que son aquellos que tienen una característica en común, los grupos son equivalentes cuando tienen la misma media y desvío en todas sus características (valores estadísticos que no se han utilizado en este estudio).

Los criterios de emparejamiento de grupos, que se consideraron relevantes teniendo en cuenta el análisis posterior tanto de la comprensión conceptual como de los errores de los alumnos son:

- ✚ el porcentaje de alumnos que cursan por primera vez la materia
- ✚ la carga horaria destinada a química en su escuela secundaria
- ✚ la distribución de notas del primer parcial

## Acciones de emparejamiento de grupos

El proceso de emparejamiento se muestra en la siguiente tabla y se han tenido en cuenta los resultados de la encuesta.

CARACTERISTICAS	G1	G2	$\Delta$ G1-G2	1er emparejamiento		2do emparejamiento		3er emparejamiento	
				G2 *	$\Delta$ G1- G2*	G2 **	$\Delta$ G1-G2**	G2 ***	$\Delta$ G1-G2***
Cantidad de alumnos	19	28	-9	24	-5	22	-3	20	-1
Edad promedio	21.1	21.4	-0.3	21.8	-0.7	21.7	-0.6	21,8	-0,7
Porcentaje de alumnos que egresó de la orientación NATURALES (%)	5	18	-13	17	-12	18	-13	15	-10
Porcentaje de alumnos que egresó de la orientación ECONÓMICAS (%)	42	39	3	42	0	41	1	45	-3
Porcentaje de alumnos que egresó de la orientación PBS	0	18	-18	13	-13	14	-14	15	-15
Porcentaje de alumnos que egresó de la orientación CAD	5	11	-6	13	-8	9	-4	5	0
Porcentaje de alumnos que egresó de la orientación HUMANAS	32	11	21	13	19	14	18	15	17
Porcentaje de alumnos que egresó de otra orientación	16	4	12	4	12	5	11	5	11
Porcentaje de alumnos que estudió 0/1 año de química	68	75	-7	79	-11	77	-9	75	-7
Porcentaje de alumnos que estudió 2 años de química	21	11	10	8	13	9	12	10	11
Porcentaje de alumnos que estudió 3 años de química	11	14	-3	13	-2	14	-3	15	-4
Porcentaje de alumnos que egresó de Nat o PBS o estudió 3 años de química*	11	43	-32	33	-22	36	-25	35	-24
Porcentaje de alumnos recursantes	74	57	17	67	7	73	1	75	-1
Porcentaje de alumnos que consultan bibliografía	63	43	20	46	17	50	13	50	13
Porcentaje de alumnos que consultan "Química Básica"	63	36	30	38	28	41	22	40	23
Porcentaje de alumnos que sacaron menos de 4 en el primer parcial**	5	29	-24	29	-24	23	-18	15	-10
Porcentaje de alumnos que sacaron entre 4 y 6 en el primer parcial	58	46	12	50	8	55	3	60	-2
Porcentaje de alumnos que sacaron más de 6 en el primer parcial	37	25	12	21	16	23	14	25	12

\*El G2, luego del 3° emparejamiento, quedó igualmente con más alumnos que teóricamente se han preparado mejor en la escuela media.

\*\*Los alumnos que han quedado en G2 luego del último emparejamiento tienen notas de 1° parcial igual a 3, valor que resulta cercano a 4.

## Criterios para el emparejamiento de grupos

Para llevar a cabo el emparejamiento entre los 2 grupos se tomaron los siguientes criterios

Referencias:

**Grupo 1 o G1:** comisión con enseñanza innovadora.

**Grupo 2 o G2:** comisión con enseñanza tradicional.

El G1 se mantuvo como **grupo intacto** dado que era el grupo más pequeño, y en lo sucesivo se lo llamará **“grupo experimental o GE”**.

Se pensó en hacer al G2 lo más parecido al G1 en todas las características indagadas en la encuesta.

Observando comparativamente la composición de ambos grupos, se pudo ver que la cantidad de alumnos recursantes era muy diferente porcentualmente ( $\Delta=17\%$ ). Al mismo tiempo se observó que G2 tenía pocos alumnos que hubieran tenido alta carga horaria de química en la escuela media.

**1er emparejamiento: G2 pasa a ser G2\*.** Se quitaron 4 alumnos (el 4, 9, 14, de la comisión 511 y el 8 de la comisión 513) por ser alumnos que cursaban por primera vez y que además habían seguido las orientaciones naturales o PBS, o que sin haber seguido esas orientaciones tuvieron 3 años o más de química en su escuela secundaria. Con esto se bajó la diferencia de porcentaje de recursantes de un 17% a un 7%.

**2do emparejamiento: G2\* pasa a ser G2\*\*.** Se quitaron 2 alumnos (el 4 y 5 de la comisión 513) por ser alumnos que obtuvieron 0 y 1 como nota del 1er. Parcial, ya que en el G1 no había alumnos que hubieran sacado esas notas en el correspondiente examen.

**3er emparejamiento: G2\*\* pasa a ser G2\*\*\*.** Se quitaron 2 alumnos (el 18 de la comisión 511 y el 3 de la comisión 513) por ser alumnos que obtuvieron 2 como nota del 1er. Parcial, para reducir la diferencia de porcentaje de alumnos que habían sacado menos de 4 en el primer parcial.

A partir de este punto al G2\*\*\* se lo llamará **“grupo control, o GC”**

## Resultados del emparejamiento de grupos

Analizando el módulo o valor absoluto de las diferencias  $\Delta G1-G2$  y  $\Delta G1-G2^{***}$ ;

Si no hay cambios apreciables entre ellas, el emparejamiento, **no modifica significativamente le equivalencia entre los grupos (esto se muestra de color amarillo en la tabla anterior)**: Edad promedio, porcentaje de alumnos que egresó de la orientación ECONÓMICAS, porcentaje de alumnos que estudiaron 0/1 o 2 o 3 años de química, porcentaje de alumnos que sacaron más de 6 en el primer parcial.

Si es menor, entonces **mejora la equivalencia entre los grupos (esto se muestra de color verde en la tabla anterior)**: Estos resultados son los esperados por las modificaciones realizadas (porcentaje de alumnos recursantes, porcentaje de alumnos que egresó de las orientaciones NATURALES o PBS, porcentaje de alumnos que sacaron menos de 4 en el primer parcial) y otros son consecuencia de ellas:

porcentaje de alumnos que egresó de las orientaciones CAD, Humanas, porcentaje de alumnos que consultan bibliografía, porcentaje de alumnos que consultan “Química Básica”, porcentaje de alumnos que sacaron entre 4 y 6 en el primer parcial.

Si es mayor, entonces **empeora la equivalencia entre los grupos**: Ninguno de los aspectos considerados entra dentro de esta categoría.

## Resultados del test de pre-requisitos

Esta evaluación se tomó con el objetivo de constituir una primera puesta a prueba de esta nueva metodología de enseñanza.

El test de pre-requisitos del tema ácido-base, consiste en 4 incisos correspondientes a los temas de “Simbología”, “Soluciones” y “Equilibrio químico”.

Se realizó una comparación entre los dos grupos atendiendo a:

- la identificación de los ácidos a partir de sus fórmulas (representación simbólica específica)
- la representación que tienen los alumnos de una solución con soluto molecular y de una solución con soluto iónico
- la aplicación del concepto de concentración molar
- la representación que tienen los alumnos de un sistema que se encuentra en equilibrio
- las concepciones alternativas en el tema de equilibrio químico.

Un resumen de los resultados del test de pre-requisitos se muestra en la siguiente tabla.

Ítem	Respuesta correcta sobre:	GE % sobre 19	GC % sobre 20	$\Delta$ % GE- GC
1	Simbología de ácidos	32	10	<b>22</b>
2a	Soluciones con solutos moleculares	47	15	<b>32</b>
2b	Soluciones de soluto iónico	63	25	<b>38</b>
3a	Aspecto cuantitativo de las soluciones	84	55	<b>29</b>
3b	Concentración	95	70	<b>25</b>
4	Equilibrio químico	32	20	<b>12</b>

Como era de esperar, se pudo comprobar que **los alumnos del GE obtuvieron mejores resultados en todos los ítems** al indagar en sus conocimientos:

- con diferentes tipos de representaciones externas (simbólica, icónica, verbal, combinación de sendos tipos de representaciones)
- sobre diferentes aspectos (cualitativo y cuantitativo)
- con respecto a los niveles de representación del fenómeno (sub-microscópico, macroscópico, una superposición de niveles y una combinación de niveles)

Además, en cuanto al modelo de disoluciones solicitado, se puede inferir de los resultados del inciso 2, que los alumnos del GE sostienen en mayor medida que los del GC, un modelo mental más cercano al modelo científico.

**Por todo lo expuesto, se considera que la nueva metodología propuesta supera la primera puesta a prueba de manera exitosa.**

Se verifica también, que los alumnos del GC son capaces de interpretar las consignas expresadas en registro gráfico-icónico referidas al nivel sub-microscópico de la materia. Este hecho es muy importante para el análisis de este estudio porque **se puede inferir que los alumnos del GC, aun sin haber sido instruidos en representaciones gráficas-icónicas, son capaces de interpretarlas.**

Se muestra a continuación el análisis detallado de cada uno de los incisos. Para cada inciso se indica el enunciado del instrumento junto con algunas consideraciones respecto de lo que se pretende evaluar con el test y el cuadro de análisis de los resultados con sus comentarios.

## Análisis del inciso 1 del test de pre-requisitos

### Instrumento - Simbología

<b>Test solicitado a los alumnos</b>	<b>Referencias para el análisis del test</b>																
<p>Dadas las siguientes fórmulas identifique con una X aquellas que representan sustancias ácidas.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tbody> <tr><td>Ca(OH)<sub>2</sub></td><td></td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></td><td></td></tr> <tr><td>CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub></td><td></td></tr> <tr><td>NH<sub>3</sub></td><td></td></tr> <tr><td>Ca(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></td><td></td></tr> <tr><td>CH<sub>3</sub>COOH</td><td></td></tr> <tr><td>HF</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Ca(OH) <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>		NH <sub>3</sub>		Ca(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		CH <sub>3</sub> COOH		HF		<b>Fórmula</b>	<b>Sustancia</b>	<b>Familia de compuestos</b>
	Ca(OH) <sub>2</sub>																
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>																
	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>																
	NH <sub>3</sub>																
	Ca(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>																
	CH <sub>3</sub> COOH																
	HF																
	Ca(OH) <sub>2</sub>	básica	Hidróxido														
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ácida	Oxácido (inorgánico)															
CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	básica	Amina															
NH <sub>3</sub>	básica	Compuesto binario de no metal e hidrógeno															
Ca(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	neutra	Oxosal															
CH <sub>3</sub> COOH	ácida	Ácido carboxílico (orgánico)															
HF	ácida	Hidrácido (inorgánico)															

Este instrumento expresado en registro simbólico se utiliza para indagar en el reconocimiento de las sustancias ácidas a partir de su fórmula química, o sea de su simbología específica. Se refiere al aspecto cualitativo y representa tanto el nivel sub-microscópico como el macroscópico.

### Resultados:

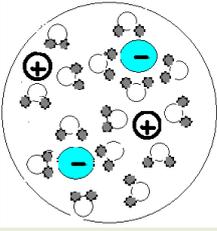
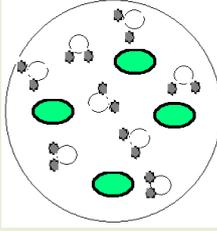
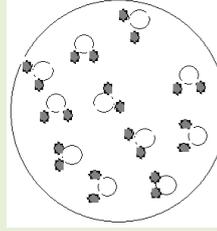
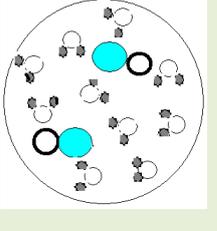
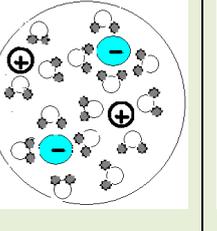
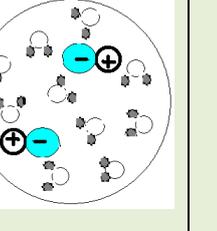
Alumnos que:	Cantidad de alumnos		Porcentaje de alumnos		Diferencia de porcentajes (GE-GC)
	GE 19 alumnos	GC 20 alumnos	GE	GC	
contestan bien todo el ejercicio	6	2	32%	10%	22%
reconocen como ácido a: Ca(OH) <sub>2</sub>	1	4	5%	20%	-15%
reconocen como ácido a: H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15	16	79%	80%	-1%
reconocen como ácido a: CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	3	1	16%	5%	11%
reconocen como ácido a: NH <sub>3</sub>	1	4	5%	20%	-15%
reconocen como ácido a: Ca(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1	3	5%	15%	-10%
reconocen como ácido a: CH <sub>3</sub> COOH	14	10	74%	50%	24%
reconocen como ácido a: HF	13	8	68%	40%	28%
reconocen bien sólo ácidos inorgánicos	3	1	16%	5%	11%
reconocen bien sólo ácidos oxigenados	3	3	16%	15%	1%
reconocen bien sólo al ácido sulfúrico	0	3	0%	15%	-15%
reconocen bien sólo al ácido acético	1	2	5%	10%	-5%
reconocen bien sólo al ácido fluorhídrico	1	0	5%	0%	5%
reconocen bien pero incompleto	8	9	42%	45%	-3%
reconocen mal por lo menos alguna de las fórmulas	5	9	26%	45%	-19%

El reconocimiento de los ácidos a partir de su simbología es mejor en el GE que en el GC.

Los elevados porcentajes obtenidos para ambos grupos en el reconocimiento del ácido sulfúrico a partir de su fórmula ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) es esperable debido a que se trata de una sustancia que resulta bastante familiar para los alumnos (por ejemplo se menciona en películas como lo son “Batman” y “El pico de Dante”) y que se menciona como ejemplo en muchas situaciones planteadas en el curso de química.

## Análisis del inciso 2 del test de pre-requisitos

### Instrumento - Soluciones: Modelos y aspecto cualitativo

Test solicitado a los alumnos	Referencias para el análisis del test										
<p>2) En los siguientes dibujos se representaron las moléculas de agua como  y las cargas netas con los signos + y -.</p> <p>a-. Una porción submicroscópica de una solución de azúcar, <math>C_{12}H_{22}O_{11}</math> (sustancia molecular) en agua podría ser representada por el dibujo:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> </div> <p>Señale la opción que corresponda. Opciones:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>Ninguna</td> <td>No sé</td> </tr> </table> <p>b- Una porción submicroscópica de una solución de cloruro de sodio, NaCl (sustancia iónica) en agua podría ser representada por el dibujo:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>C</p> </div> </div> <p>Señale la opción que corresponda. Opciones:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>Ninguna</td> <td>No sé</td> </tr> </table>	A	B	C	Ninguna	No sé	A	B	C	Ninguna	No sé	<p><b>Parte a</b></p> <p>La opción A muestra una confusión entre un soluto molecular con un soluto iónico.</p> <p>La opción B es la correcta.</p> <p>La opción C suele ser elegida por aquellos alumnos que piensan que si una sustancia se disuelve, o sea desaparece de la vista, se está perdiendo o desapareciendo.</p> <p>La opción Ninguna puede resultar elegida por aquellos alumnos que piensan que luego del proceso de disolución se formó una nueva sustancia.</p> <p>La opción No sé podrá ser elegida tanto por los alumnos que desconocen el concepto de solución como por aquellos que desconocen los códigos de representación.</p> <p><b>Parte b</b></p> <p>La opción A muestra una confusión entre un soluto iónico con un soluto molecular.</p> <p>La opción B es la correcta.</p> <p>La opción C suele ser elegida por aquellos alumnos que a pesar de considerar el soluto iónico no consideran la disociación en agua.</p> <p>La opción Ninguna puede resultar elegida por aquellos alumnos que piensan que luego del proceso de disolución se formó una nueva sustancia.</p> <p>La opción No sé podrá ser elegida tanto por los alumnos que desconocen el concepto de solución como por aquellos que desconocen los códigos de representación.</p>
A	B	C	Ninguna	No sé							
A	B	C	Ninguna	No sé							

Este instrumento expresado en registro icónico representa el nivel sub-microscópico de una solución cuyo soluto es molecular (parte a) y de otra solución cuyo soluto es iónico (parte b), y se refiere al aspecto cualitativo de las soluciones.

### Resultados de la parte a:

Alumnos que contestan la opción:	Cantidad de alumnos		Porcentaje de alumnos		$\Delta$ % (GE-GC)
	GE= 19 alumnos	GC= 20 alumnos	GE	GC	
A	2	6	11	30	-19
<b>B: Correcta</b>	9	3	<b>47</b>	<b>15</b>	<b>32</b>
C	4	3	21	15	6
Ninguna	2	4	11	20	-9
No Sé	2	4	11	20	-9

Se revela una marcada diferencia en los porcentajes de respuestas correctas a favor del GE (32%). Este resultado sería consistente con el hecho que los alumnos del GE habían trabajado en clase con representaciones icónicas a nivel sub-microscópico en el tema soluciones. Paralelamente se observa que el 30% del GC incurre en el error de asignar a la solución de un soluto molecular la representación icónica de un soluto iónico.

### Resultados de la parte b:

Alumnos que contestan la opción:	Cantidad de alumnos		Porcentaje de alumnos		$\Delta$ % (GE-GC)
	GE= 19 alumnos	GC= 20 alumnos	GE	GC	
A	1	1	5	5	0
<b>B: Correcta</b>	12	5	<b>63</b>	<b>25</b>	<b>38</b>
C	6	10	32	50	-18
Ninguna	0	0	0	0	0
No Sé	0	4	0	20	-20

Se manifiesta una marcada diferencia en los porcentajes de respuestas correctas a favor del GE (38%). Este resultado sería consistente con el hecho que los alumnos del GE habían trabajado en clase con representaciones icónicas a nivel sub-microscópico en el tema soluciones. Paralelamente se observa que el 50% del GC no identifica mediante la representación iónica adecuada el producto final del proceso de disociación.

### Resultados de las partes a y b:

Alumnos que contestan en ambas partes del instrumento:	Cantidad de alumnos		Porcentaje de alumnos		$\Delta$ % (GE-GC)
	GE= 19 alumnos	GC= 20 alumnos	GE	GC	
Correctamente	7	2	37	10	27
No sé	0	3	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>-15</b>

Si bien, como se expresó con anterioridad, existe una marcada diferencia en las respuestas correctas a favor del GE y sigue haciéndose visible en los resultados de ambas partes del instrumento. El 37% de los alumnos del GE habrían formado un modelo mental completo con respecto a las soluciones o disoluciones reconociendo en forma simultánea que las soluciones se componen de soluto y solvente, caracterizando a los solutos como moleculares o iónicos, e interpretando qué es lo que ocurre con ellos a nivel sub-microscópico, una vez formada la solución. El hecho de que sólo un 15% del GC contestan "no sé" permite inferir que la amplia mayoría de los alumnos de este grupo pueden otorgar alguna significación al tipo de representación semiótica presentada en este instrumento.

## Análisis del inciso 3 del test de pre-requisitos

### Instrumento- Soluciones aspecto cuantitativo

<b>Test solicitado a los alumnos</b>	<b>Referencias para el análisis del test</b>
<p>a- Calcule la molaridad de una solución que se ha preparado disolviendo 7,30 g de HCl (M=36,5 g/mol) en agua y llevando a un volumen de 500 mL de solución.</p>	$n = \frac{m}{M} = \frac{7,30g}{36,5g/mol} = 0,200 \text{ mol HCl}$ <p>500 mL sc ----- 0,200 mol HCl            1000mL sc ----- x                      x= 0,400 mol HCl</p> <p><b>C= 0,400 M</b></p> <p>Ref. n: cantidad m: masa sc: solución C: concentración</p>
<p>b- ¿Cuántos gramos de HCl (M=36,5 g/mol) se necesitan para preparar 2 litros de una solución 0,100M?</p>	<p>1L sc ----- 0,100 mol HCl            2L sc ----- x                      x= 0,200 mol HCl</p> <p><math>m = n \cdot M = 0,200 \text{ mol} \cdot 36,5 \text{ g/mol}</math>  <b>m st= 7,30g</b></p> <p>Ref. n: cantidad m: masa sc: solución st: soluto</p>

Este instrumento expresado en registro verbal representa el nivel macroscópico de dos soluciones cuyo soluto es el ácido clorhídrico en diferente concentración. Se pretende evaluar si saben aplicar el concepto de concentración molar. Se refiere al aspecto cuantitativo y representa el nivel macroscópico.

### Resultados y análisis del inciso 3 del pre- test

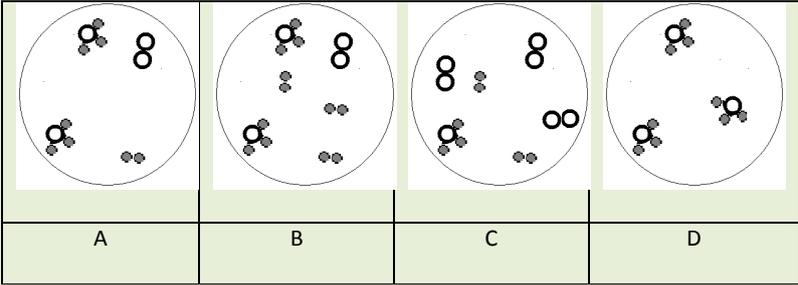
Ítem		Cantidad de alumnos		Porcentaje de alumnos		Δ % (GE-GC)
		GE 19 alumnos	GC 20 alumnos	GE	GC	
a	Bien	16	11	<b>84</b>	<b>55</b>	29
	Mal	3	6	16	30	-14
	no contestan	0	3	0	15	-15
b	Bien	18	14	<b>95</b>	<b>70</b>	25
	Mal	1	1	5	5	0
	no contestan	0	5	0	25	-25
a y b	Bien	15	9	<b>79</b>	<b>45</b>	34
	no contestan	0	3	0	15	-15

El GE supera ampliamente al GC en cuanto a la resolución de problemas.

Los elevados porcentajes de respuestas correctas de este inciso dadas por los alumnos de ambos grupos guardan relación con el hecho de que el aspecto cuantitativo de las soluciones es aquel que se trabaja con mayor frecuencia durante la enseñanza y el aprendizaje.

## Análisis del inciso 4 del test de pre-requisitos

### Instrumento- Equilibrio Químico

<b>Test solicitado a los alumnos</b>	<b>Referencias para el análisis del test</b>						
<p>Un recipiente cerrado de 10 litros a una determinada temperatura contiene un sistema en equilibrio formado por tres gases en las siguientes cantidades: 0,300 mol de <math>N_2(g)</math>, 0,200 mol de <math>H_2(g)</math> y 0,100 mol de <math>NH_3(g)</math>.</p> <p>La ecuación <math>N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)</math> representa la estequiometría del equilibrio mencionado.</p> <p>Una porción sub-microscópica de dicho sistema podría ser representada por el dibujo:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">A                      B                      C                      D</p> <p>Señale la opción que corresponda. Opciones:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">A</td> <td style="padding: 2px 10px;">B</td> <td style="padding: 2px 10px;">C</td> <td style="padding: 2px 10px;">D</td> <td style="padding: 2px 10px;">Ninguno</td> <td style="padding: 2px 10px;">No sé</td> </tr> </table>	A	B	C	D	Ninguno	No sé	<p>La opción A: sería elegida por quienes pensarán que en el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos.</p> <p>La opción B: sería elegida por quienes tuvieran una fijación con los coeficientes de la ecuación química.</p> <p>La opción C: es la correcta</p> <p>La opción D: no reconocen la reversibilidad de la reacción</p> <p>La opción Ninguno: sería elegida por quienes tuvieran algún tipo de representación diferente de las presentadas.</p> <p>La opción No sé: sería elegida tanto por los alumnos que desconocieran el concepto de equilibrio químico como por aquellos que desconocieran los códigos de representación.</p>
A	B	C	D	Ninguno	No sé		

En este instrumento expresado en registros diferentes: icónico, simbólico y verbal, se pretende evaluar la representación que tienen los alumnos de un sistema que se encuentra en equilibrio. Si bien incurren en el error de pensar que en el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos, y si existe una concepción alternativa, resultante de una fijación entre los coeficientes estequiométricos y las cantidades de reactivos y productos en el equilibrio. Se representan tanto el nivel macroscópico como el sub-microscópico de un sistema en equilibrio.

### Resultados y análisis

Opción		Cantidad de alumnos		% de alumnos		$\Delta \%$ (GE-GC)
		GE 19 alumnos	GC 20 alumnos	GE	GC	
A	Reactivos igual que productos	2	1	11	5	6
B	Fijación con los coeficientes	10	5	53	25	28
C	correcta	6	4	32	20	12
D	Solo producto	0	4	0	20	-20
Ninguno		0	1	0	5	-5
No sé		1	5	5	25	-20

Los alumnos del GE establecen en mayor medida que los del GC ( $\Delta=12\%$ ) la relación correcta entre el aspecto macroscópico y cuantitativo con la representación sub-microscópica de un sistema en equilibrio.

De todas formas, es importante destacar que los porcentajes de respuestas correctas fueron bajos en ambos grupos. Esto puede deberse a varios factores:

En primer lugar, porque equilibrio químico es el último tema enseñado previo a esta evaluación.

En segundo lugar, el problema no parece ser la utilización de representaciones icónicas en el enunciado del instrumento, sino más bien una concepción alternativa resultante de la fijación con la ecuación química y que es inducida por la misma representación simbólica específica, la ecuación química. Sin embargo, quienes eligieron la opción B, y por lo tanto vinculan los coeficientes estequiométricos con las cantidades de reactivo y productos, saben que reactivos y productos coexisten en el equilibrio.

Por último, aquellos alumnos que representan solo productos son quienes no reconocen la diferencia entre una reacción total y una parcial.

Con el objetivo de asegurarnos que el 25% de los alumnos del GC que contestan “no sé” lo hacen por desconocimiento del concepto equilibrio químico o de la situación planteada, y no lo hacen por desconocimiento de los códigos del registro gráfico, se realizó la cuantificación de aquellos alumnos que contestaron “no sé” en los incisos 2 y 4 en forma simultánea. Esto se puede ver en la tabla siguiente.

Alumnos que contestan “no sé” en el Inciso	Cantidad de alumnos		% de alumnos		$\Delta \%$ (GE-GC)
	GE 19 alumnos	GC 20 alumnos	GE	GC	
2 a	2	4	11	20	-9
2 b	0	4	0	20	-20
4	1	5	5	25	-20
2a, 2b y 4	0	1	0	5	-5

El resultado del cruce que se realizó entre los pre-requisitos que se formulan en registro icónico del nivel sub-microscópico nos indicaría que el problema no sería el desconocimiento de los códigos de representación.

## Análisis comparativo de los resultados del pre-test y post-test en los incisos de opciones múltiples

De la **comparación entre algunos incisos del pre-test y del post-test** correspondientes a las teorías ácido-base (incisos 1 del pre-test y 5 del post-test), la diferencia entre ácido fuerte y débil, o dicho en otras palabras, el conocimiento del concepto de fuerza ácida (incisos 2 del pre-test y 6 del post-test) y la acidez (incisos 3 del pre-test y 7 y 8 del post-test), se establecieron criterios para saber cuáles de los errores conceptuales cometidos por los alumnos:

- ✚ Se **logran cambiar** durante los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Si la respuesta a las opciones incorrectas aparece solo en el pre-test, esto implica que durante los procesos de enseñanza y de aprendizaje se logró cambiar la concepción errónea previa.
- ✚ Se **generan** durante los procesos de enseñanza y/o de aprendizaje. Si la respuesta a la opción aparece solo en el post-test, esto implica que esta concepción (correcta o errónea) ha sido generada durante los procesos de enseñanza y/o de aprendizaje.
- ✚ Son **resistentes al cambio**. Si la respuesta a la opción aparece en **ambos test**, esto implica que aun habiendo sido impartida la instrucción correspondiente **no se logró cambiar la concepción previa** del alumno. Si las respuestas corresponden a ideas erróneas y no se han podido cambiar, podría decirse que estas ideas son resistentes al cambio, o que el tipo de enseñanza o de aprendizaje no sirve para desarraigarlas. En tal caso podría tratarse de un error muy arraigado, que podría ser una teoría de dominio.

### Análisis del inciso 1 del pre-test vs inciso 5 del post-test

#### Instrumento - Teorías ácido-base

<i>Test solicitado a los alumnos</i>	<i>Referencias para el análisis del test</i>
<i>Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tiene respecto de los <b>ácidos</b>.</i>	
<i>a- Los ácidos son reconocidos por su sabor agrio y, por ejemplo, porque cambian a rojo el color del tornasol.</i>	Opción a: reconocimiento de los ácidos por sus características macroscópicas
<i>b- Los ácidos son sustancias hidrogenadas que producen protones <math>H^+</math> en agua.</i>	Opción b: aceptación de la teoría de Arrhenius
<i>c- Los ácidos son especies químicas moleculares o iónicas capaces de donar un protón <math>H^+</math> a otra sustancia.</i>	Opción c: aceptación de la teoría de Bronsted y Lowry
<i>d- No sé cuáles son las características de los ácidos.</i>	Opción d: desconocimiento de las características de los ácidos

Test expresado en registro simbólico verbal y específico. Se pretende evaluar el reconocimiento de los ácidos por sus características macroscópicas, el conocimiento de las teorías de Arrhenius y/o de Bronsted y Lowry. Mientras que la opción a) se refiere al nivel macroscópico de la materia, las opciones b) y c) se refieren al nivel sub-microscópico, debido a que en sus enunciados aparecen términos como ion o molécula.

## Resultados

Instrumento	Pre- test		Post- test	
	% de alumnos		% de alumnos	
	GE	GC	GE	GC
a) Reconocimiento por sus propiedades macroscópicas	47	35	63	45
b) Teoría de Arrhenius	32	50	42	45
c) Teoría de Bronsted y Lowry	42	25	79	80
d) Ninguna	11	20	0	0

Con respecto a los resultados del pre-test, se observa que la mitad de los alumnos del GC sostiene la teoría de Arrhenius, y paralelamente los alumnos del GE sostienen en gran medida la teoría de Bronsted y Lowry. Un análisis más detallado de los alumnos que eligen la opción c, Teoría de Bronsted y Lowry, revela que 3 de los 8 alumnos del GE y 3 de los 5 alumnos del GC cursan por primera vez esta materia. A partir de estos datos se puede inferir que la teoría de Bronsted y Lowry está siendo enseñada en la escuela secundaria.

Con respecto a los resultados del post-test, se observa que la gran mayoría en ambos grupos conoce la Teoría de Bronsted y Lowry. Este hecho, es consistente con el objetivo de la cátedra del CBC, de considerar ese marco teórico en el desarrollo de equilibrio ácido-base.

## Análisis de los resultados

Teorías ácido-base	Alumnos que modificaron su concepción previa			Alumnos que generaron una concepción durante la instrucción			Alumnos que no modificaron su concepción previa		
	Solo en el pre-test (% de alumnos)			Solo en post-test (% de alumnos)			En ambos test (% de alumnos)		
	GE	GC	$\Delta$	GE	GC	$\Delta$	GE	GC	$\Delta$
a) Reconocimiento por sus propiedades macroscópicas	11	15	-4	26	25	1	37	20	17
b) Teoría de Arrhenius	21	20	1	32	15	17	11	30	-19
c) Teoría de Bronsted y Lowry	16	10	6	53	65	-12	26	15	11
d) Ninguna	11	20	-9	0	0	0	0	0	0

$$\Delta = GE - GC$$

Para el caso de la **teoría ácido-base** utilizada por los alumnos, es notable para ambos grupos la adhesión a la teoría de Bronsted y Lowry luego de la instrucción.

## Análisis del inciso 2 del pre-test vs inciso 6 del post-test

### Instrumento- Fuerza ácida

Test solicitado a los alumnos	Referencias para el análisis del test
<p>Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tiene respecto de la <b>diferencia entre un ácido fuerte y un ácido débil.</b></p> <p>a- No existe diferencia alguna entre los ácidos fuertes y débiles. (ver aclaración en capítulo de metodología)</p> <p>b- Los ácidos fuertes son aquellos que se ionizan completamente y los ácidos débiles se ionizan parcialmente.</p> <p>c- Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intramoleculares fuertes y los ácidos débiles presentan uniones débiles entre los átomos que forman la molécula.</p> <p>d- Los ácidos fuertes son las soluciones de ácido concentradas y los ácidos débiles son las soluciones de ácido diluidas.</p> <p>e- Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intermoleculares fuertes y los ácidos débiles presentan uniones débiles entre sus moléculas.</p> <p>f- Los ácidos fuertes son los de mayor acidez y los ácidos débiles son de menor acidez.</p> <p>g- No sé cuál es la diferencia entre un ácido fuerte y un ácido débil.</p>	<p>Opción a: no existe diferencia</p> <p>Opción b: correcta</p> <p>Opción c: vinculación errónea entre el ácido fuerte y la unión intramolecular fuerte</p> <p>Opción d: vinculación errónea entre el ácido fuerte y el ácido cuyas soluciones son más concentradas que las de los ácidos débiles</p> <p>Opción e: vinculación errónea entre el ácido fuerte y la unión intermolecular fuerte</p> <p>Opción f: vinculación errónea entre el ácido fuerte y las soluciones de mayor acidez</p> <p>Opción g: desconocimiento de la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil</p>

Test expresado en registro simbólico verbal. Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a la diferencia entre ácidos fuertes y débiles, teniendo en cuenta las concepciones alternativas indagadas en estudios anteriores.

### Resultados

Fuerza ácida	Pre-test		Post-test	
	% de alumnos		% de alumnos	
	GE	GC	GE	GC
a) No hay diferencia	0	0	0	0
b) Correcta	68	55	89	85
c) Ácido fuerte- unión intramolecular fuerte	16	5	11	10
d) Ácido fuerte- solución concentrada	16	5	5	15
e) Ácido fuerte- unión intermolecular fuerte	11	15	26	40
f) Ácido fuerte- mayor acidez	26	40	21	50
g) No sé	5	25	0	0

Con respecto a los resultados del pre-test, se observa que la mayoría de los alumnos de ambos grupos conocen de antemano la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil. *Conocer no implica necesariamente comprender.* Se han detectado las siguientes ideas previas:

- *Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intramoleculares fuertes*
- *Los ácidos fuertes son aquellos cuyas soluciones son más concentradas que las de los ácidos débiles*

- *Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intermoleculares fuertes, y los ácidos fuertes son de mayor acidez que los ácidos débiles*
- *Los ácidos fuertes son aquellos cuyas soluciones son las más ácidas (idea errónea que se presenta en mayor medida para ambos grupos)*

Con respecto a los resultados del post-test, se observa que la gran mayoría de los alumnos de ambos grupos conoce las definiciones tanto para los ácidos fuertes como para los débiles, sin embargo los porcentajes de respuestas incorrectas en los ítems c, d, e y f revelan la existencia de relaciones incorrectas entre los ácidos fuerte y débil; y las uniones intra e intermoleculares, la concentración de la solución y la acidez. Un análisis más detallado revela que el porcentaje de alumnos que conoce las definiciones de ácido fuerte y débil (opción b correcta) y que además no manifiesta ninguno de los errores formulados en las opciones c, d, e y f es del 37% para el GE y del 20% para el GC, porcentajes calculados sobre el total de alumnos de cada grupo respectivamente.

En el GC el **40%** de los alumnos sostiene que *“Los ácidos fuertes son aquellos que presentan uniones intermoleculares fuertes y los ácidos débiles presentan uniones débiles entre sus moléculas”*, y el **50%** piensa que los ácidos fuertes son de mayor acidez que los débiles.

### Análisis de los resultados

Idea con respecto a la fuerza ácida	Alumnos que modificaron su concepción previa			Alumnos que generaron una concepción durante la instrucción			Alumnos que no modificaron su concepción previa		
Opción	Solo en el pre-test (% de alumnos)			Solo en post-test (% de alumnos)			En ambos test (% de alumnos)		
	GE	GC	$\Delta$	GE	GC	$\Delta$	GE	GC	$\Delta$
a) No hay diferencia	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b) Correcta	5	5	0	26	35	-9	63	50	13
c) Ácido fuerte- unión intramolecular fuerte	16	10	6	11	5	6	0	5	-5
d) Ácido fuerte- solución concentrada	11	5	6	0	15	-15	5	0	5
e) Ácido fuerte- unión intermolecular fuerte	11	5	6	26	30	-4	0	10	-10
f) Ácido fuerte- mayor acidez	21	10	11	16	20	-4	5	30	-25
g) No sé	5	25	-20	0	0	0	0	0	0

$$\Delta = GE - GC$$

 Si la respuesta a las opciones incorrectas aparece **solo en el pre-test**, implica que los procesos de enseñanza y de aprendizaje lograron **cambiar la concepción errónea previa**.

De los resultados mostrados en la tabla anterior se deduce que:

- Se ha logrado cambiar todas las concepciones erróneas que sostenían previamente los alumnos en mayor medida en el GE que en el GC.
- Con respecto al cambio en la concepción errónea que relaciona **los ácidos fuertes con las uniones intramoleculares fuertes**, éste se puede relacionar con la enseñanza, en tanto que el profesor del GE teatralizó la situación para un ácido fuerte sujetando un borrador con su

mano y solicitando a un alumno que se lo quitara. De esta manera el profesor logró ilustrar por analogía que en el ácido fuerte las uniones intramoleculares son débiles, al dejar que el alumno retire el borrador con facilidad.

- La idea de que el **ácido fuerte es el de mayor acidez** es la que se logra cambiar en mayor medida en el GE.

✚ Si la respuesta a la opción aparece **solo en el post-test**, esto implica que esta concepción (correcta o errónea) ha sido **generada durante la instrucción**.

De los resultados mostrados en la tabla anterior se observa y/o deduce que:

- Los procesos de enseñanza y de aprendizaje han sido efectivos en un porcentaje más elevado en el GC que en el GE ( $\Delta = -9$ ) con respecto al conocimiento de la definición de ácido fuerte y débil (Opción b).
- El **15%** de los alumnos del GC generan durante la instrucción la concepción errónea “*Los ácidos fuertes son las soluciones ácidas concentradas y los ácidos débiles son las soluciones ácidas diluidas*” (Opción d-). Esta idea se genera únicamente en los alumnos del GC.
- Un elevado porcentaje de alumnos en ambos grupos **generan concepciones erróneas** con respecto a las relaciones entre los ácidos fuerte y débil, y las uniones intermoleculares y la acidez (Opciones e y f). En ambos ítems los procesos enseñanza y de aprendizaje han propiciado la generación del error en mayor medida en el GC que en el GE ( $\Delta = -4$ ).
- Los procesos de enseñanza y de aprendizaje fueron efectivos en tanto que ningún alumno contesta la opción g mientras que en el pre-test sí lo hicieron.

✚ Si la respuesta a la opción aparece en **ambos test**; esto implica que aun habiendo sido impartida la instrucción correspondiente, **no se logró cambiar la concepción previa** del alumno. Si las respuestas corresponden a ideas erróneas y no se han podido cambiar, podría decirse que estas ideas son resistentes al cambio, o que el tipo de enseñanza y aprendizaje no sirve para desarraigarlas. En tal caso, podría tratarse de un error muy arraigado que podría ser una teoría de dominio. Para determinarlo como TD habría que triangularlo con otros instrumentos (Callone y Torres, 2013)

De los resultados mostrados en la tabla anterior se observa y/o deduce que:

- La idea de que “*el ácido fuerte es el de mayor acidez*” (opción f), queda arraigada en el **30%** de los alumnos del GC, podría deberse a la instrucción que refuerce esta idea. Por ejemplo, la resolución de problemas donde se calcula la acidez de soluciones de ácidos fuertes y débiles de igual concentración inicial. En tal situación, la acidez de una disolución de ácido fuerte es mayor que la del ácido débil. En el caso del GE, el profesor refuerza la idea contraria a través de diferentes estrategias y representaciones. Son ejemplos: la proposición “*El ácido fuerte no necesariamente es el de mayor acidez*”; el cálculo comparativo de la acidez entre una solución muy diluida de un ácido fuerte y una solución más concentrada de un ácido débil; la representación gráfica de la diferencia entre ácidos fuertes y débiles desde un punto de vista macroscópico que pone en evidencia que la acidez es mayor en caso del ácido fuerte, siempre y cuando la concentración inicial sea la misma (diapositiva 6 de la presentación Power Point); la medición in situ (experimental) de pH luego de la dilución.

A continuación se ilustra la diapositiva 6

## Diferencias macroscópicas



Diapositiva 6- En la imagen se observa en el rótulo de los envases de ambos tipos de ácidos la misma concentración inicial, el pH menor del ácido fuerte, que es indicador de una mayor acidez.

## Análisis del inciso 3 del pre-test vs incisos 7 y 8 del post-test

### Instrumento- Acidez

<b>Pre-test solicitado a los alumnos</b>	<b>Post-test solicitado a los alumnos</b>	<b>Referencias para el análisis tomando las opciones del post-test</b>
<p>Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tenga respecto de la <b>acidez</b> de una solución de un ácido.</p> <p>a- La acidez es una medida de la concentración de ion hidronio en solución.</p> <p>b- La acidez depende exclusivamente de la concentración inicial de una solución acuosa de un ácido.</p> <p>c- La acidez es una medida de la fuerza ácida.</p> <p>d- La acidez es una medida de la concentración de una solución acuosa de un ácido y de la fuerza ácida simultáneamente.</p>	<p>7) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tenga respecto de la <b>acidez</b> de una solución de un ácido.</p> <p>a- La acidez es una medida de la concentración de ion hidronio en solución.</p> <p>b- La acidez depende exclusivamente de la concentración inicial de una solución acuosa de un ácido.</p> <p>c- La acidez es una medida de la fuerza ácida.</p> <p>d- La acidez es una medida de la concentración de una solución acuosa de un ácido y de la fuerza ácida simultáneamente.</p> <p>e- No sé qué se entiende por acidez.</p>	<p>Opción a: correcta</p> <p>Opción b: vinculación errónea con la concentración</p> <p>Opción c: vinculación errónea con la fuerza ácida</p> <p>Opción d: correcta con explicitación de la dependencia de la concentración inicial del ácido y su fuerza ácida</p> <p>Opción e: desconocimiento del concepto de acidez</p>
	<p>e- El pH es una medida de la acidez de una solución acuosa.</p> <p>f- El pH es una medida de la fuerza ácida.</p> <p>g- No sé qué se entiende por acidez.</p>	<p>8) Indique con un círculo la o las opciones que representen la idea que Ud. tenga respecto del <b>pH</b></p> <p>a- El pH de una solución de un ácido fuerte siempre es menor que el de una solución de ácido débil.</p> <p>b- Si el valor de <math>K_a</math> de un ácido débil es mayor que el <math>K_a</math> de otro ácido débil, entonces su pH resultará siempre menor que el pH del segundo ácido.</p> <p>c- El pH es una medida de la fuerza ácida.</p> <p>d- El pH es una medida de la acidez de una solución acuosa.</p>

Test expresado en registro simbólico verbal y específico. Se pretende evaluar los conocimientos previos referidos a la acidez, teniendo en cuenta las concepciones alternativas indagadas en estudios anteriores.

Tanto en el post-test 7 como en el pre-test 3, se presentan los mismos ítems con excepción de los ítems e y f que se refieren al pH.

## Resultados

Instrumento - Acidez	Pre-test		Post-test	
	Porcentaje de alumnos		Porcentaje de alumnos	
	GE	GC	GE	GC
a- Correcta	47	50	84	55
b- La acidez solo depende de la concentración inicial	0	0	11	15
c- La acidez solo depende de la fuerza ácida	21	5	26	25
d- Relación correcta: acidez, concentración y fuerza ácida	11	0	11	25
e- No sé	16	30	0	5
a y d correctas	0	0	11	10

De los resultados del pre-test de este inciso se observa que, prácticamente la mitad de ambos grupos conocen la definición de acidez; sin embargo sólo muy pocos alumnos, y pertenecientes al GE, pueden establecer las relaciones correctas entre la acidez, la concentración inicial y la fuerza del ácido. Un análisis más detallado revela que del total de los alumnos que conocen la definición de acidez, ningún alumno de ambos grupos establece las relaciones correctas entre la acidez y la concentración inicial de la solución y la fuerza del ácido (opciones a y d correctas).

Instrumento – Acidez - pH	Pre-test		Post-test	
	% de alumnos		% de alumnos	
	GE	GC	GE	GC
e del pre-test y d de post-test - Correcta	32	45	53	40
f del pre-test y c del post-test: El pH depende de la fuerza ácida - Incorrecto	32	20	21	35

También en el pre-test, el pH es reconocido como una medida de la acidez de una solución, en mayor medida por los alumnos del GC que los del GE. Un análisis más detallado revela que los alumnos del GC conocen en mayor medida que los del GE la definición de acidez y su vinculación con el pH (opciones a y e correctas).

De los resultados del post-test se observa que se pone en evidencia la existencia de la idea errónea con respecto a la acidez y su relación con la fuerza del ácido, que se conocía a partir de estudios anteriores (Callone y Torres, 2013 y Alí y otros, 2012) y que se puede enunciar como *“La acidez de una solución es mayor en el caso de un ácido fuerte que en el de un ácido débil”*. Esta misma idea errónea se manifiesta también en la elección de la opción f del pre-test, aun cuando en esta opción se expresa a través del pH, que es una medida de la acidez de una solución.

Los resultados del post-test indican que:

- Un elevado porcentaje (**84%**) de los alumnos del GE conocen el concepto de “acidez”, sin embargo el **26%** incurrir en un reduccionismo, al considerar que la acidez solo depende de la fuerza del ácido. Este último error lo cometen en la misma medida los alumnos del GC.
- Un porcentaje apreciable (**25%**) de los alumnos del GC establecen la correcta relación entre la acidez, la concentración y la fuerza ácida.

## Análisis de los resultados

Idea con respecto a la fuerza ácida	Alumnos que modificaron su concepción previa			Alumnos que generaron una concepción durante la instrucción			Alumnos que no modificaron su concepción previa		
Opción	Solo en el pre-test (%de alumnos)			Solo en post-test (% de alumnos)			En ambos test (% de alumnos)		
	GE	GC	$\Delta$	GE	GC	$\Delta$	GE	GC	$\Delta$
a- Correcta	5	10	-5	42	15	27	42	40	2
b- La acidez solo depende de la concentración inicial	0	0	0	11	15	-4	0	0	0
c- La acidez solo depende de la fuerza ácida	16	0	16	21	20	1	5	5	0
d- Relación correcta: acidez, concentración y fuerza ácida	5	0	5	5	25	-20	5	0	5
e- no sé	16	25	-9	0	0	0	0	5	-5
a y d correctas	0	0	0	11	10	1	0	0	0

$$\Delta = GE - GC$$

- Si la respuesta a las opciones incorrectas aparece **solo en el pre-test**, esto implica que los procesos de enseñanza y de aprendizaje lograron **cambiar la concepción errónea previa**.

De los resultados mostrados en la tabla anterior se observa y/o deduce que:

- En el GE se logra un importante cambio en la concepción errónea que vincula **la acidez con la fuerza ácida exclusivamente**.

- Si la respuesta a la opción aparece **solo en el post- test**, esto implica que esta concepción (correcta o errónea) ha sido **generada durante la instrucción**.

De los resultados mostrados en la tabla anterior se observa y/o deduce que:

- La concepción errónea que relaciona **la acidez con la concentración inicial exclusivamente** se genera durante la instrucción en mayor medida en el GC, mientras que la concepción errónea que **vincula la acidez con la fuerza del ácido exclusivamente** se genera en la misma medida en ambos grupos.

- Si la respuesta a la opción aparece en **ambos test**, esto implica que, aun habiendo sido impartida la instrucción correspondiente, **no se logró cambiar la concepción previa** del alumno.

De los resultados mostrados en la tabla anterior se observa y/o deduce que:

- La idea errónea persistente, aunque en baja medida, es la que vincula **la acidez con la fuerza ácida exclusivamente**.

## Análisis de los restantes incisos del post-test

En esta sección se exponen los siguientes análisis:

- el comparativo de los incisos 1 y 2, que representan una misma situación expresada en dos registros semióticos diferentes (simbólico específico y verbal) tomando como antecedente de análisis el trabajo publicado por Callone y Torres (2013),
- del inciso 3, utilizando una reformulación de una categoría de análisis publicada por Callone y otros (2008),
- el comparativo de los incisos 1, 2 y 3, que representan una misma situación expresada en tres registros diferentes (simbólico específico, verbal y gráfico-icónico)
- del inciso 4
- el análisis comparativo del inciso 9 y 9bis, que representan una misma situación en dos registros gráficos diferentes. El diseño y parte del análisis del inciso 9 se ha inspirado en la publicación de Alí y otros (2011), trabajo en el cuál esta investigadora fue coautora.

Para cada uno de estos análisis se presentan: el instrumento, el tipo de representación que éste presenta y la que se solicita a los alumnos, los conceptos que con el instrumento pueden ser evaluados y el análisis del instrumento propiamente dicho. Con el fin de facilitar al lector los análisis expuestos en esta sección, se consideró pertinente incluir los antecedentes a partir de los cuáles surgen los criterios de análisis, para los incisos 1 y 2 en forma conjunta y los incisos 3 y 9. Por último se presenta el análisis comparativo entre ambos grupos.

### Instrumentos

1) Dos frascos contienen  $1 \text{ dm}^3$  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, coloque en los espacios en blanco los signos  $>$ ,  $=$ ,  $<$ , según corresponda para las soluciones preparadas en los frascos mencionados. NOTA: si para dar estas respuestas requiere realizar algún planteo le solicitamos que lo escriba en la hoja.

a)  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (A) .....  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (B)

b)  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (A) .....  $[\text{Cl}^-]$  (A)

c)  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (B) .....  $[\text{F}^-]$  (B)

d)  $[\text{Cl}^-]$  (A) .....  $[\text{HCl}]$  (A)

e)  $[\text{F}^-]$  (B) .....  $[\text{HF}]$  (B)

2) Dos frascos contienen  $1 \text{ dm}^3$  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, complete los espacios en blanco con "mayor que", "igual a" o "menor que", según corresponda para las soluciones preparadas en los frascos mencionados.

a) La concentración molar de iones hidronio en la solución A es ..... la concentración molar de iones hidronio en la solución B.

b) La concentración molar de iones hidronio en la solución A es ..... la concentración molar de iones cloruro en la solución A.

c) La concentración molar de iones hidronio en la solución B es ..... la concentración molar de iones fluoruro en la solución B.

d) La concentración molar de iones cloruro en la solución A es ..... la concentración molar de cloruro de hidrógeno en la solución A.

e) La concentración molar de iones fluoruro en la solución B es ..... la concentración molar de fluoruro de hidrógeno en la solución B.

**Tipo de Representación presentada en los instrumentos.** En ambos instrumentos se enuncia una misma situación y se solicita responder las mismas cuestiones. Los ítems a completar se encuentran formulados en registro simbólico específico, y por otro lado, verbal, en los incisos 1 y 2 respectivamente.

**Tipo de Representación solicitada a los alumnos.** Se solicita a los alumnos completar los ítems en registros simbólico, específico y verbal, en los incisos 1 y 2 respectivamente.

Instrumento	Registro en que se ha formulado	Registro solicitado al alumno
Post-test: inciso 1	Verbal y simbólico específico	Simbólico específico
Post-test: inciso 2	Verbal	Verbal

**Conceptos que se evalúan con estos instrumentos.** Los conceptos que se ponen a prueba son muchos y de variados temas. Entre ellos se pueden mencionar los conceptos de: solución, concentración de las soluciones, molaridad, autoionización del agua, fuerza ácida (ácido fuerte y ácido débil) y constante de acidez, mencionados en el enunciado; acidez (ítem a), relación estequiométrica entre reactivos (ítems b y c), ácido fuerte (ítem d) y ácido débil y equilibrio químico (ítem e).

En el presente estudio interesa evaluar los conceptos de acidez y su relación con la fuerza ácida (ítem a), de ácido fuerte mediante la vinculación de las concentraciones molares de alguna de las especies presentes en la solución (ítem d) y de ácido débil, a través de la relación entre las concentraciones molares de alguna de las especies presentes en el equilibrio y la cuantificación relativa de dichas concentraciones a partir del valor de la constante del ácido,  $K_a$ . (ítem e).

En la siguiente tabla se resume el análisis efectuado para los ítems a, d y e, válido tanto para el inciso 1 como para el inciso 2. (Se presentará el ítem de forma simbólica para simplificar el formato de la tabla)

**Referencias para el análisis - Análisis de los ítems a), d) y e) de los incisos 1 y 2**

Relación entre los conceptos de:	Ítem	Respuesta	Condición de la respuesta e inferencias
Acidez Y Fuerza ácida	a) [H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] <sub>(A)</sub> ..[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ] <sub>(B)</sub>	Mayor	<b>Respuesta correcta</b> “A igual concentración inicial, la acidez es mayor en el caso del ácido fuerte que en el débil” <b>Error enmascarado</b> Esta respuesta correcta sería dada también por aquellos alumnos que sostuvieran la idea que <i>la acidez es función únicamente de la fuerza del ácido</i> .
		Menor	<b>Respuesta incorrecta</b> “A igual concentración inicial, la acidez es menor en el caso del ácido fuerte que en el débil”.
		Igual	<b>Respuesta incorrecta</b> “La acidez es función únicamente de la concentración inicial” <b>Teoría de dominio</b> presentada por Callone y Torres (2013)
Ácido fuerte y concentraciones molares de alguna de las especies presentes en la solución	d) [Cl <sup>-</sup> ] <sub>(A)</sub> . ... [HCl] <sub>(A)</sub>	Mayor	<b>Correcta</b> “El ácido fuerte se ioniza completamente, luego la concentración molar de HCl en el equilibrio tiende a cero y por lo tanto la concentración molar del ion cloruro (producto de su ionización) es mayor que cero”
		Menor	<b>Respuesta incorrecta</b> - Algunas posibilidades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpretación errónea de la situación solicitada. La concentración en el frasco se confunde con la concentración inicial. Análisis presentado por Callone y Torres. (2013).</li> <li>• “En el frasco quedan moléculas de HCl sin ionizar”. “El ácido fuerte se encontraría asociado o parcialmente ionizado”, este idea se encuentra estrechamente vinculada a la teoría de dominio: “El ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes” (Callone y Torres, 2013)</li> </ul>
		Igual	<b>Respuesta incorrecta</b> - Algunas posibilidades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atribuye al ácido fuerte la significación de ácido débil, y por tanto el ácido fuerte se encontraría parcialmente ionizado y en una proporción tal, que las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio serían iguales.</li> <li>• Interpretación errónea de la situación solicitada. La concentración en el frasco se confunde con la concentración inicial. Análisis presentado por Callone y Torres (2013).</li> </ul>
Ácido débil, concentraciones molares de alguna de las especies presentes en el equilibrio y Ka	e) [F <sup>-</sup> ] <sub>(B)</sub> . . . . [HF] <sub>(B)</sub>	Menor	<b>Correcta</b> La coexistencia de iones fluoruro y de moléculas de ácido HF es condición para que el ácido débil se encuentre parcialmente ionizado en agua. Teniendo en cuenta el valor de la constante del ácido, la concentración molar de los iones, producto de la ionización, resulta ser menor que la concentración de ácido sin ionizar. <b>Error enmascarado.</b> Interpretación errónea de la situación solicitada. La concentración en el frasco se confunde con la concentración inicial. Análisis presentado por Callone y Torres (2013).
		Mayor	<b>Respuesta incorrecta</b> - Algunas posibilidades: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se atribuye al ácido débil la significación del ácido fuerte. Luego, el ácido débil se encuentra totalmente ionizado.</li> <li>• “El ácido débil se encuentra parcialmente ionizado en agua, pero no se ha tenido en cuenta la cuantificación (relacionada con el valor de ka).</li> </ul>
		Igual	<b>Respuesta incorrecta</b> “El ácido débil se encuentra parcialmente ionizado en agua y las concentraciones de reactivos y productos son iguales”. Esta idea se vincula con una concepción alternativa que establece una relación incorrecta entre el equilibrio y la igualdad de las concentraciones de reactivos y productos. Presentado por Callone y Torres (2013).

Los resultados de los incisos 1 y 2 del post- test, expresados en registro simbólico y registro verbal respectivamente, se presentan en un mismo apartado para poder establecer **un análisis comparativo** como lo hicieron Callone y Torres (2013). En aquella oportunidad, y con el objetivo de poner a prueba estos instrumentos, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación para un único grupo de 139 alumnos:

### **Resultados del análisis comparativo entre los instrumentos expresados en registro simbólico y verbal**

Porcentaje de respuestas sobre un total de 139 alumnos (en negrita la respuesta correcta)									
	Registro simbólico (%)				Registro verbal (%)				Comparación entre registros (%)
Ítem	>	=	<	No contesta	Mayor	igual	Menor	No contesta	Falta de coincidencia entre registros
a	<b>67</b>	19	10	4	<b>66</b>	19	11	4	19
b	18	<b>65</b>	12	5	17	<b>65</b>	14	4	20
c	14	<b>60</b>	20	6	18	<b>62</b>	15	4	22
d	<b>35</b>	41	20	4	<b>37</b>	37	22	4	21
e	26	18	<b>50</b>	6	24	13	<b>58</b>	5	29

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.

La interpretación que realizan los alumnos de las consignas expresadas en el registro simbólico y en el verbal es diferente, por lo tanto no se puede realizar lo que Duval (1999) denomina conversión entre representaciones.

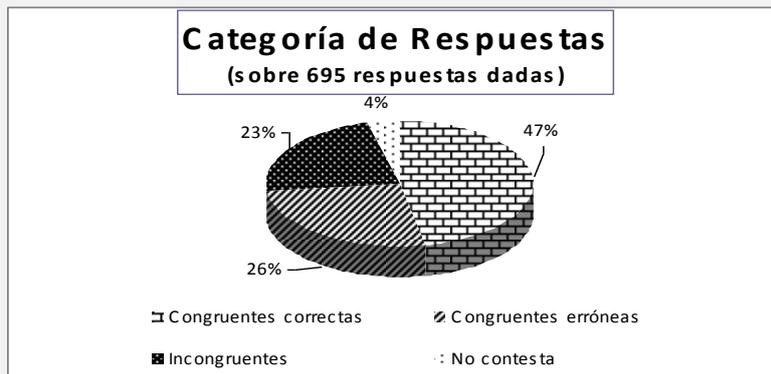
### **Resultados de análisis de congruencia en las respuestas**

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

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. Obstáculo que habría que salvar
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 a salvar.

Los porcentajes correspondientes fueron calculados teniendo en cuenta 139 alumnos que respondieron a 5 ítems, según se detalla en la siguiente tabla; y se representan en el siguiente gráfico con su correspondiente tabla.

Ítem	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



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 mostró en la sección de validación de hipótesis.

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.

## Resultados

### Grupo Experimental

#### GE- Preferencia de un registro sobre el otro

Porcentaje de respuestas sobre un total de 19 alumnos (en negrita la respuesta correcta)									
Ítem	Registro simbólico (%)				Registro verbal (%)				Comparación entre registros (%)
	>	=	<	No contesta	Mayor	igual	Menor	No contesta	Falta de coincidencia entre registros
a	<b>84</b>	5	11	0	<b>89</b>	5	5	0	26
b	5	<b>95</b>	0	0	0	<b>89</b>	11	0	11
c	16	<b>79</b>	5	0	11	<b>68</b>	21	0	21
d	<b>47</b>	42	11	0	<b>37</b>	47	16	0	32
e	47	0	<b>53</b>	0	16	11	<b>74</b>	0	53
Porcentaje de alumnos que responden congruentemente todos los ítems									26%
Porcentaje de respuestas congruentes sobre 95									72%

Este grupo muestra una **preferencia del registro simbólico** sobre el registro verbal en tanto que el porcentaje de respuestas correctas para los ítems b, c y d son significativamente superiores en el registro simbólico que en el verbal. En el **ítem e** ocurre lo contrario, para este ítem parece haber una mejor interpretación y mayor comprensión de la situación planteada en el **registro verbal**.

#### GE- Congruencia e incongruencia

Los resultados mostrados en la última columna de la tabla anterior muestran que según el ítem, entre un 11% a un 53% 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**.

Ítem	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Correctas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Erróneas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Incongruentes (%)	Cantidad de alumnos que No Contestan en ambos registros (%)
A	74	0	26	0
B	89	0	11	0
C	63	16	21	0
D	32	37	31	0
E	37	11	52	0
% total sobre 95 respuestas	59%	13%	28%	0%

Se revela una mayor congruencia en las respuestas correctas que en las erróneas, excepto en el ítem d.

Categorías de respuestas	Porcentaje (sobre 95)
Congruentes correctas	59 %
Congruentes erróneas	13 %
Incongruentes	28 %
No contesta	0%

En análisis más detallado revela que:

% de alumnos que responden congruentemente	
todos los ítems	todos los ítems y correctamente
<b>26%</b>	<b>0%</b>

GC- Preferencia de un registro sobre el otro

Porcentaje de respuestas sobre un total de 20 alumnos (en negrita la respuesta correcta)									
Ítem	Registro simbólico (%)				Registro verbal (%)				Comparación entre registros (%)
	>	=	<	No contesta	Mayor	igual	Menor	No contesta	Falta de coincidencia entre registros
a	<b>70</b>	25	5	0	<b>65</b>	25	10	0	15
b	10	<b>65</b>	20	5	15	<b>65</b>	20	0	25
c	15	<b>70</b>	10	5	15	<b>65</b>	15	5	15
d	<b>20</b>	50	25	5	<b>15</b>	55	30	0	30
e	30	5	<b>60</b>	5	5	5	<b>85</b>	5	30
Porcentaje de alumnos que responden congruentemente todos los ítems									45%
Porcentaje de respuestas congruentes sobre 100									77%

No se revela una preferencia de un registro sobre otro en tanto que el porcentaje de respuestas correctas para cada ítem es muy semejante entre sí, con excepción del **ítem e** en el cual parece haber una mejor interpretación y mayor comprensión de la situación planteada en el **registro verbal**.

GC- Congruencia e incongruencia

Los resultados mostrados en la última columna de la tabla anterior muestran que según el ítem, entre un 15% a un 30% 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**.

Ítem	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Correctas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Erróneas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Incongruentes (%)	Cantidad de alumnos que No Contestan en ambos registros (%)
a	60	25	15	0
b	55	20	25	0
c	60	25	10	5
d	10	60	30	0
e	60	10	25	5
% total sobre 100 respuestas	49%	28%	21%	2%

Se revela un mayor índice de congruencia en las respuestas correctas que en las erróneas excepto en el ítem d.

Categorías de respuestas	Porcentaje (sobre 100)
Congruentes correctas	49%
Congruentes erróneas	28%
Incongruentes	21%
No contesta	2%

En análisis más detallado revela que:

Porcentaje de alumnos que responden congruentemente	
todos los ítems	todos los ítems y correctamente
<b>45%</b>	<b>0%</b>

## Comparación de los grupos GE y GC

### GE vs GC - Preferencia de un registro sobre el otro

Ítem	% de respuestas correctas instrumentos 1 vs 2, registro preferido			
	GE		GC	
a	84% vs 89%	verbal	70% vs 65%	simbólico
b	95% vs 89%	simbólico	65% vs 65%	simbólico/verbal
c	79% vs 68%	simbólico	70% vs 65%	simbólico
d	47% vs 37%	simbólico	20% vs 15%	simbólico
e	53% vs 74%	verbal	60% vs 85%	verbal

Los porcentajes de respuestas correctas para ambos instrumentos son significativamente superiores en el GE, con excepción del ítem e.

Los alumnos del GC son los que muestran una marcada preferencia por un único registro, el simbólico, excepto en un único ítem donde existe una marcada preferencia por el registro verbal para ambos grupos.

### GE vs GC - Congruencia e incongruencia

#### Análisis de la congruencia e incongruencia para todos los ítems del instrumento tomados en conjunto

Categorías de respuestas	Grupo Experimental % sobre 95	Grupo Control % sobre 110	Δ GE-GC
Congruentes	72%	77%	5%
Congruentes correctas	59 %	49 %	10%
Congruentes erróneas	13 %	28 %	-15 %
Incongruentes	28 %	21%	7%
No contesta	0%	2%	-2%

**Relativo a la interpretación de las consignas.** Ambos grupos, el GE y el GC, son congruentes en un elevado porcentaje de respuestas. Se podría inferir que interpretan lo mismo en estos dos registros semióticos. Estos alumnos realizan la conversión entre representaciones de dos registros semióticos, según Duval. **Este resultado es consistente con las prácticas de clase observadas ya que en ambas clases se trabajó con estos dos tipos de registros de manera exhaustiva.**

**Relativo a la comprensión conceptual.** El GE presenta una diferencia del 10% con respecto al GC en cuanto a los porcentajes de respuestas congruentes correctas. A partir de la mencionada diferencia, se infiere una mejor comprensión de parte de los alumnos del GE frente a los del GC.

**Relativo a los errores conceptuales.** La presencia de respuestas congruentes erróneas revela un error conceptual, o sea un problema de comprensión. Este hecho permite reafirmar aquello mencionado con anterioridad: *“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 se advierte que no es suficiente...”* (Callone y Torres ,2013). Los alumnos que ofrecen respuestas congruentes en ambos registros, pero erróneas, son aquellos que interpretan bien ambos enunciados, pero comprenden mal. El hecho de que sean respuestas erróneas pero congruentes en ambos registros es un índice de un error arraigado.

Los datos de la tabla anterior ponen de manifiesto que existe una diferencia del 15% en las respuestas congruentes erróneas entre el GE y el GC.

El 28% de las respuestas congruentes erróneas de los alumnos del GC permite afirmar que los alumnos del mencionado grupo, que realizan la conversión entre representaciones y que responden equivocadamente, lo hacen comprendiendo mal; es decir, tendrían un **error conceptual y arraigado**.

### Análisis de la congruencia e incongruencia para todos los ítems del instrumento tomados individualmente

Ítem	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes (%)		Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Correctas (%)		Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Erróneas (%)	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
a	74	85	74	60	0	25
b	89	75	89	55	0	20
c	79	85	63	60	16	25
d	68	70	32	10	37	60
e	47	70	37	60	11	10

**Situaciones que se interpretan de la misma manera en un registro que en otro.** El GC interpreta lo mismo en ambos registros y lo hace en un porcentaje mayor que el GE en los ítems a, c y e (en este último caso la diferencia es más importante). Ocurre lo contrario solo en el caso del ítem b, mientras que no existe diferencia considerable entre los dos grupos en cuanto al ítem d.

**Conceptos y relaciones de conceptos que se comprenden mejor** (solo se analizan los ítems a, d y e, como se indica en las referencias para el análisis). Los resultados muestran que existe una mayor comprensión por parte de los alumnos del GE con respecto al concepto de **acidez** y su relación con la fuerza ácida (ítem a, **74 vs 60%**). Sin embargo, esta inferencia es provisional debido a que podría haber un error enmascarado en las respuestas correctas del ítem a. La respuesta correcta sería dada también por aquellos alumnos que sostuvieran una teoría de dominio que se podría expresar como: “la acidez es función únicamente de la fuerza del ácido”. Este error se ha verificado en un importante porcentaje de los alumnos, tanto del GE como del GC por triangulación con otros instrumentos, y se puede ver al final de este capítulo. Luego de la triangulación, se reveló una mayor comprensión en el GE, pero no tan importante como se podría inferir a partir de los porcentajes mencionados.

La misma tendencia en cuanto a la comprensión se evidencia para los conceptos de **ácido fuerte** y concentraciones molares de equilibrio de alguna de las especies presentes en la solución (ítem d, **32 vs 10%**).

La tendencia contraria se manifiesta en el concepto de **ácido débil** y su relación con el valor de  $K_a$ , pues los alumnos del GC evidencian una mayor comprensión al respecto. Sin embargo, podría haber un error enmascarado en la respuesta correcta del ítem e. La concentración en el frasco se confunde con la concentración inicial. Análisis presentado en los antecedentes (Callone y Torres, 2013).

En la tabla siguiente se resume el porcentaje de respuestas congruentes correctas de ambos grupos para los conceptos analizados.

Conceptos	Ítem (% GE vs % GC)	Mayor comprensión
Acidez	a (74% vs 60%)	GE
Ácido fuerte	d (32% vs 10%)	GE
Ácido débil	e (37% vs 60%)	GC

**Errores más arraigados** (solo analizamos los ítems a, d y e, como se indica en las referencias para el análisis)

En la tabla siguiente se resume el porcentaje de respuestas congruentes erróneas de ambos grupos para los conceptos analizados.

Conceptos	Ítem (% GE vs % GC)	Mayor cantidad de errores
Acidez	a (0% vs 25%)	GC
Ácido fuerte	d (37% vs 60%)	GC
Ácido débil	e (11% vs 10%)	Semejante en ambos grupos

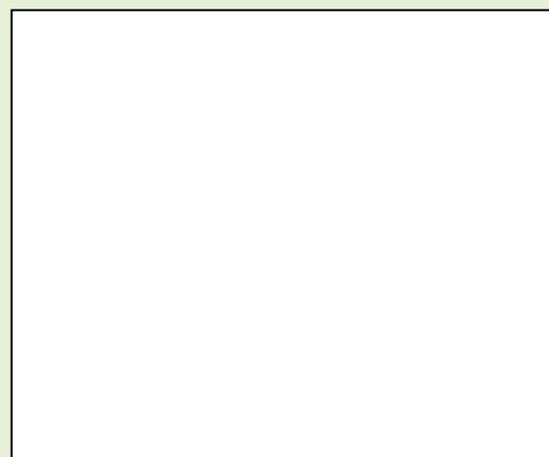
Los posibles errores arraigados que se desprenden del análisis de las respuestas congruentes erróneas se presentan a continuación.

Ítem	Posibles errores arraigados (la triangulación se puede ver en la sección 4.2)	Cantidad de Respuestas Congruentes Erróneas (%)	
		GE	GC
a) igual	<ul style="list-style-type: none"> <li>“La acidez es función únicamente de la concentración inicial” <b>Teoría de dominio</b> presentada en Callone y Torres(2013)</li> </ul>	0	25
d) menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>“En el frasco quedan moléculas de HCl sin ionizar”. “El ácido fuerte se encontraría asociado o parcialmente ionizado”, esta idea se encuentra estrechamente vinculada a la teoría de dominio: “El ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes” (Callone y Torres, 2013)</li> </ul>	0	20
d) igual	<ul style="list-style-type: none"> <li>“Se atribuye al ácido fuerte la significación de ácido débil, y por tanto el ácido fuerte se encontraría parcialmente ionizado y en una proporción tal, que las concentraciones de reactivos y productos en el equilibrio serían iguales”.</li> <li>Interpretación errónea de la situación solicitada. La concentración en el frasco se confunde con la concentración inicial. Análisis presentado por Callone y Torres (2013).</li> </ul>	37	40
e) mayor	<ul style="list-style-type: none"> <li>“Se atribuye al ácido débil la significación del ácido fuerte luego; el ácido débil se encuentra totalmente ionizado”.</li> <li>“El ácido débil se encuentra parcialmente ionizado en agua, pero no se ha tenido en cuenta la cuantificación (relacionada con el valor de <math>K_a</math>)</li> </ul>	11	5

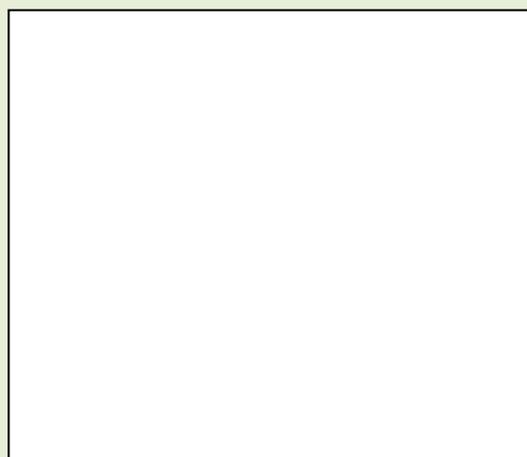
## Análisis del inciso 3 del post-test

### Instrumento

3) Dos frascos contienen  $1\text{dm}^3$  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), sin que se produzca cambio de volumen. Usted dispone de una lupa muy potente que permite ver hasta el nivel molecular. Intente dibujar en los dos rectángulos siguientes un esquema de lo que podría ver en el frasco A y en el frasco B.



Frasco A



Frasco B

**Tipo de representación mostrada en el instrumento.** En este instrumento se enuncia la misma situación que en los instrumentos 1 y 2, en registro verbal y simbólico específico; la única diferencia es que no se ha informado como dato del problema el valor de la constante del ácido,  $K_a$ .

**Tipo de representación solicitada a los alumnos.** Se solicita una representación gráfica de tipo icónica. Se pide a los alumnos que realicen un esquema de lo que podrían “ver” a escala molecular en el caso de dos soluciones correspondientes a un ácido fuerte y a un ácido débil de la misma concentración.

Instrumento	Registro en que se ha formulado	Registro solicitado al alumno
Post-test 3	Verbal y simbólico específico	Icónico

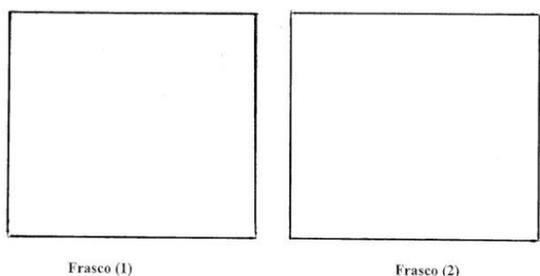
**Conceptos que se evalúan con este instrumento.** Al igual que en los instrumentos 1 y 2, los conceptos que se ponen a prueba son muchos y de variados temas. Entre ellos se pueden mencionar los conceptos de: solución, concentración de las soluciones, molaridad, autoionización del agua, fuerza ácida (ácido fuerte y ácido débil) mencionados en el enunciado, y se podrían evaluar los conceptos de acidez (si dibujan iones hidronio en los frascos), relación estequiométrica de las reacciones (en qué proporción dibujan los reactivos y productos de la ionización), ácido fuerte y ácido débil (si dibujan los reactivos y productos de la ionización), equilibrio químico (en el frasco B, si es que ionizan parcialmente al ácido) y las especies presentes. En el presente estudio interesa evaluar los conceptos de acidez, ácido fuerte y ácido débil y la relación de la acidez con la fuerza ácida y la concentración molar inicial o de preparación de las soluciones.

## Antecedentes

Para analizar las representaciones externas de los alumnos, se han utilizado siete categorías que se ilustran y detallan a continuación (Callone, C. et al., 2008). En aquella oportunidad, el instrumento fue el mismo que el utilizado en este trabajo y corresponde al inciso 3 del post- test.

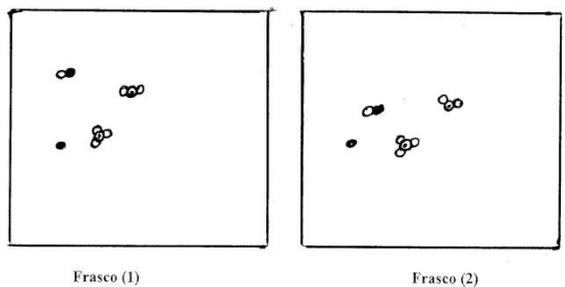
El criterio en el cual se ha basado esta clasificación atiende a consideraciones gráficas, o sea de representaciones externas, como el registro que se utiliza -simbólico o icónico- y los elementos gráficos representados, como las referencias de las partículas dibujadas, la cantidad y la conformación de las partículas.

R 0



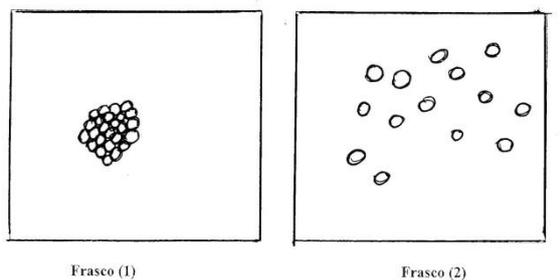
Es la representación nula. Se incluye en esta categoría a todas las respuestas sin dibujos, o con dibujos imposibles de racionalizar.

R 1

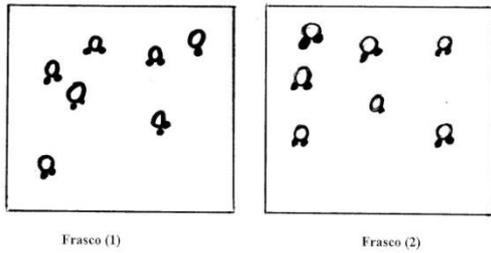


- Representación icónica
- Sin referencias
- Una partícula de cada especie
- Muestra la conformación

R 2



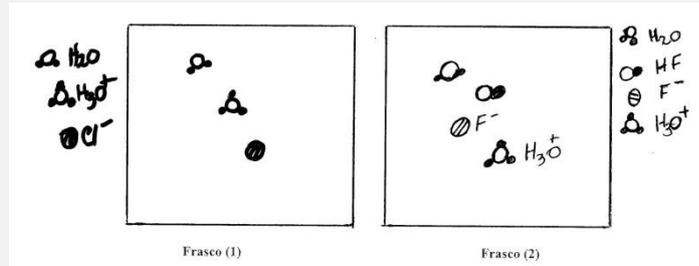
- Representación icónica
- Sin referencias
- Más de una partícula de por lo menos una de las especies
- No muestra la conformación



R 3

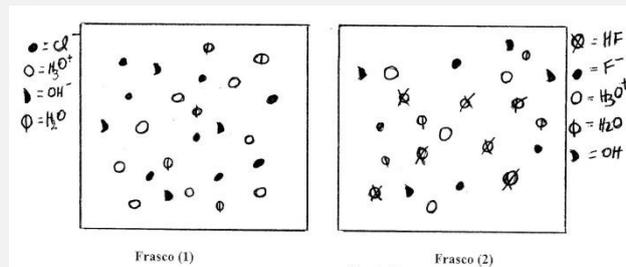
- Representación icónica
- Sin referencias
- Mas de una partícula de por lo menos una de las especies
- No muestra la conformación

R 4



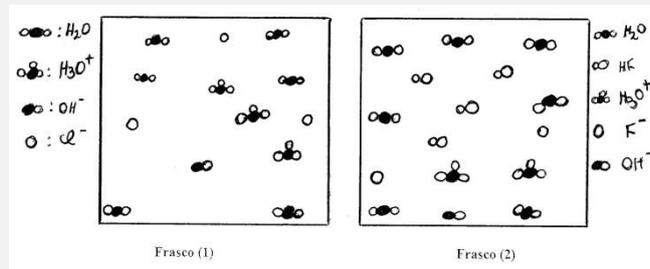
- Representación icónica
- Con referencias
- Una partícula de cada especie
- Muestra la conformación

R 5



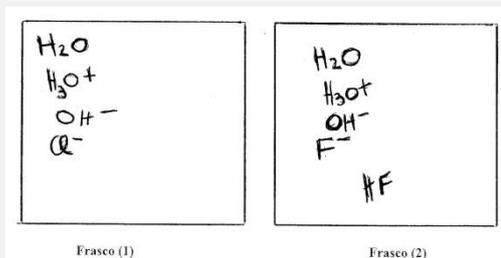
- Representación icónica
- Con referencias
- Más de una partícula de por lo menos una de las especies
- No muestra la conformación

R 6



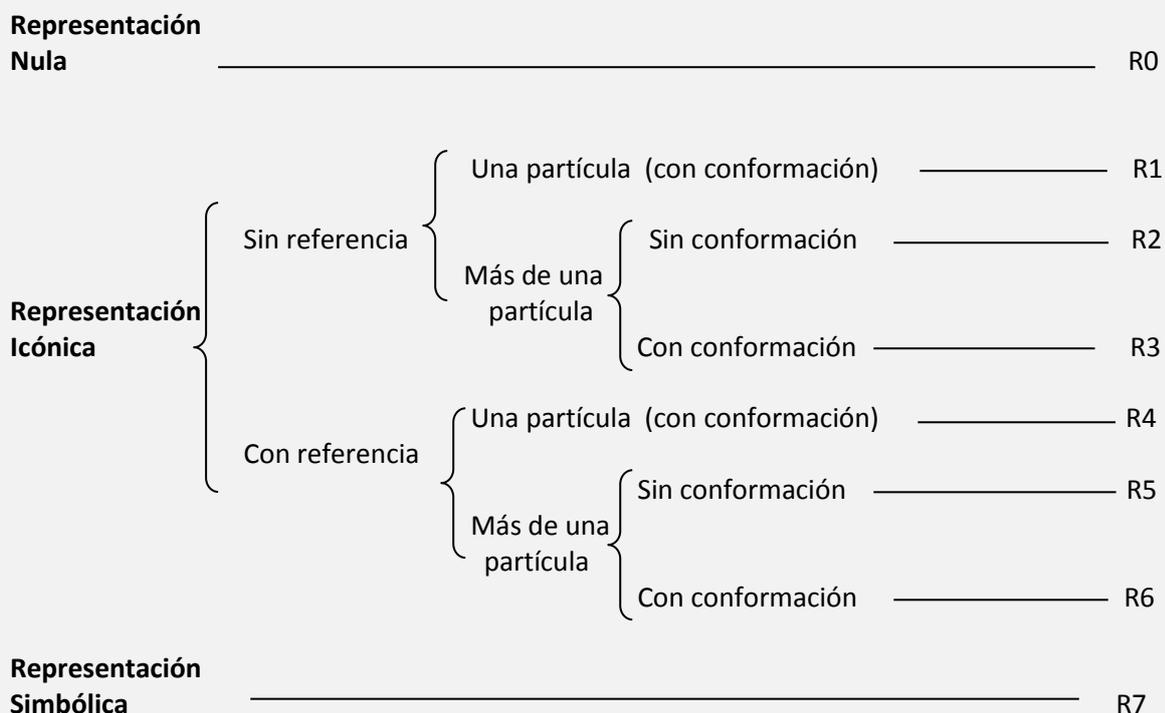
- Representación icónica
- Con referencias
- Más de una partícula de, por lo menos, una de las especies
- Muestra la conformación

R 7



- Representación simbólica

A continuación, se muestra en forma esquemática la secuencia de criterios seguida en la agrupación de las representaciones.



Los distintos tipos de representación (R0, R1, ..., R7) son medios para exteriorizar parte de los modelos mentales de los alumnos. Según sea el tipo de representación elegida, pueden ilustrarse una o más de los siguientes conceptos: fuerza ácida, concentración, ionización del agua, electroneutralidad de la solución y especies presentes.

A partir del análisis de los conceptos que pueden ilustrarse en las diferentes representaciones, se han categorizado cuatro modelos conceptuales:

Modelo nulo o M0: No ilustra ningún concepto.

Modelo 1 o M1: Permite representar únicamente el concepto de concentración.

Modelo 2 o M2: Permite mostrar los conceptos de fuerza ácida, ionización del agua y las especies presentes, pero no da cuenta de la concentración ni de la electroneutralidad de la solución.

Modelo 3 o M3: Tiene en cuenta todos los conceptos.

Se puede establecer una mayor complejidad del modelo conceptual en la medida que vincule mayor cantidad de estos conceptos.

En síntesis, los tipos de representaciones son expresiones gráficas de 4 modelos conceptuales.

- M0 → R0
- M1 → R2
- M2 → R1, R4, R7
- M3 → R3, R5, R6

Cabe aclarar que las representaciones de los alumnos son expresiones gráficas completas o no de estos 4 modelos. Por ejemplo, si bien la representación 3 permitiría ilustrar todos los conceptos mencionados, no todos los alumnos que optaron por esta representación incluyeron en sus dibujos elementos que permitan ilustrar los mencionados aspectos del fenómeno en su totalidad.

La siguiente tabla resume lo expresado anteriormente con respecto a las relaciones entre representaciones, conceptos que pueden ilustrarse y modelos conceptuales.

REPRESENTACIÓN	CONCEPTOS QUE SE PUEDEN ILUSTRAR					MODELO
	CONCEN-TRACIÓN	FUERZA ÁCIDA	IONIZACIÓN DEL AGUA	ELECTRO-NEUTRALIDAD DE LA SOLUCIÓN	ESPECIES PRESENTES	
R0	No	No	No	No	No	M0
R1	No	Si	Si	No	Si	M2
R2	Si	No	No	No	No	M1
R3	Si	Si	Si	Si	Si	M3
R4	No	Si	Si	No	Si	M2
R5	Si	Si	Si	Si	Si	M3
R6	Si	Si	Si	Si	Si	M3
R7	No	Si	Si	No	Si	M2

## Resultados

Se han analizado los conceptos que pueden ilustrarse con las diferentes representaciones y recategorizado, en esta oportunidad, los modelos conceptuales presentados por los mencionados autores, agregando el concepto de acidez. “Los distintos tipos de representación (R0, R1, ..., R7) son medios para exteriorizar parte de los modelos mentales de los alumnos” ... “Cabe aclarar que las representaciones de los alumnos son expresiones gráficas completas o no de estos 4 modelos. Por ejemplo, si bien la representación 3 permitiría ilustrar todos los conceptos mencionados, no todos los alumnos que optaron por esta representación incluyeron en sus dibujos elementos que permitan ilustrar los mencionados aspectos del fenómeno en su totalidad.” (Callone, C. et al, 2008).

La tabla siguiente resume las relaciones entre representaciones, conceptos que pueden ilustrarse y modelos conceptuales. A diferencia de la categorización de Callone y otros (2008), se incorpora en esta oportunidad, el concepto de acidez, que se puede ilustrar en las representaciones correspondientes al modelo M3.

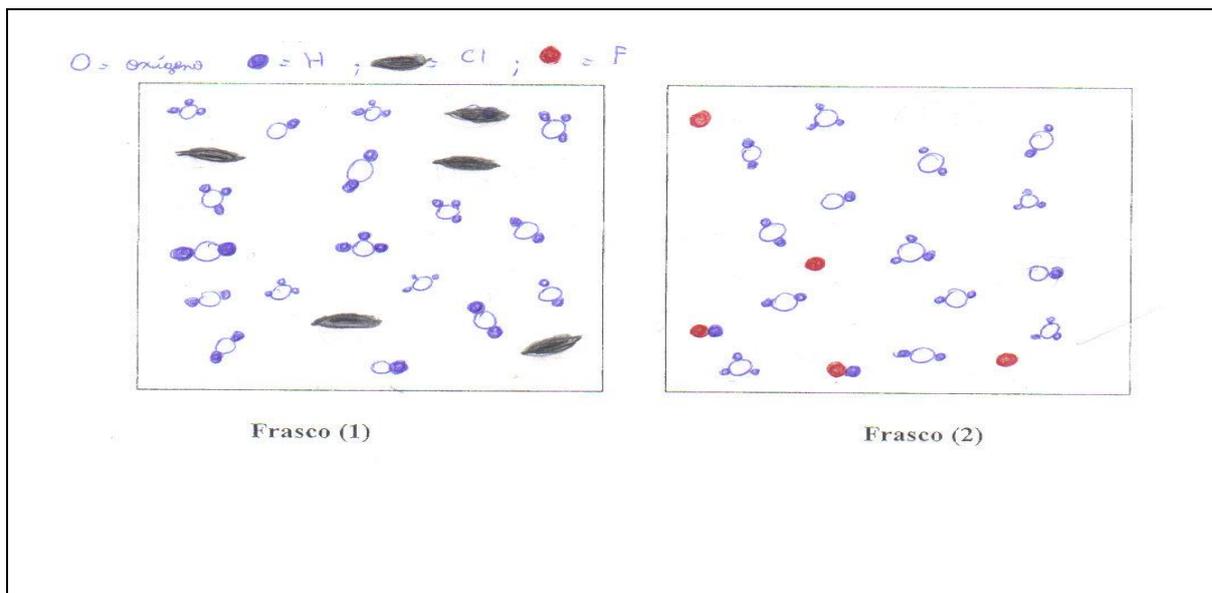
REPRESENTACIÓN	MODELO	CONCEPTOS QUE SE PUEDEN ILUSTRAR					
		CONCENTRACIÓN	FUERZA ÁCIDA	ACIDEZ	IONIZACIÓN DEL AGUA	ELECTRO-NEUTRALIDAD DE LA SOLUCIÓN	ESPECIES PRESENTES
R0	M0	No	No	No	No	No	No
R2	M1	Si	No	No	No	No	No
R1, R4, R7	M2	No	Si	No	Si	No	Si
R3, R5, R6	M3	Si	Si	Si	Si	Si	Si

M1, M2 y M3 son modelos conceptuales, en tanto que a través de las representaciones externas permiten establecer relaciones entre conceptos. M3 es un modelo más complejo que los restantes, en tanto que mediante él se pueden ilustrar todos los conceptos mencionados y sus relaciones, aunque, como se verá más adelante, no todos los alumnos establecen las relaciones de igual manera que en el modelo científico.

Mientras que los conceptos de fuerza ácida, ionización del agua, electroneutralidad de la solución y especies presentes se pueden observar en forma absoluta en cada representación, los conceptos de concentración y acidez se desprenden únicamente de un análisis comparativo entre representaciones, debido a que requieren en su evaluación del conteo y comparación de las partículas representadas. El conteo de las especies representadas se ha volcado en un archivo Excel.

## Análisis de un caso

A continuación, se ilustra el análisis de un caso de representación R6 correspondiente al modelo M3.



Este alumno realiza una representación del tipo R6. Es una representación icónica, con referencia, de más de una partícula diferente y con conformación de las partículas.

Del conteo de las partículas representadas resulta:

Partícula (*)	Frasco (1)	Partícula (*)	Frasco (2)
Cl <sup>-</sup>	5	F <sup>-</sup>	3
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	7	HF	2
HO <sup>-</sup>	2	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	5
H <sub>2</sub> O	7	HO <sup>-</sup>	2
		H <sub>2</sub> O	7

(\*) Se dieron por supuestas las cargas eléctricas correspondientes a las especies químicas representadas.

### Concentración Molar

La concentración molar de una solución ácida (mol de soluto/1L de solución) es una concentración nominal cuyo valor figura escrito en el rótulo de los envases que contienen la solución; se refiere a una situación inicial previa a la ionización total o parcial del ácido. Tanto en la bibliografía recomendada por la cátedra, por ejemplo "Química, la Ciencia Central" de Brown y otros (2004: 629), como en el discurso del aula, se denomina "concentración inicial".

En la situación planteada por el instrumento, en ambos frascos la Concentración Molar tiene el mismo valor (0,1M). La concentración molar de la solución del frasco (1) se establece a partir del número de iones cloruro (Cl<sup>-</sup>) debido a que se trata de un ácido fuerte y por lo tanto, se encuentra totalmente ionizado en agua. La concentración molar de la solución del frasco (2) se establece a partir de la suma de los números de iones fluoruro (F<sup>-</sup>) y de moléculas de fluoruro de hidrógeno (HF), debido a que se trata de un ácido débil y por lo tanto, se encuentra parcialmente ionizado en agua.

La simplificación que se hace al considerar el número de partículas representadas proporcionales a la concentración molar se fundamenta en que el espacio asignado para la representación (en escala nanoscópica) es proporcional al volumen de la solución y que ambos espacios son del mismo tamaño.

En este caso, el alumno representa 5 partículas  $\text{Cl}^-$  y 5 partículas entre  $\text{F}^-$  y HF. La concentración molar de ambas soluciones resulta ser igual.

#### *Fuerza ácida*

Este concepto se refiere a la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil. El ácido fuerte se ioniza completamente en agua, mientras que el ácido débil se ioniza parcialmente. En el frasco (1) se espera entonces que no se representen moléculas de cloruro de hidrógeno (HCl), mientras que en el frasco (2) se espera que se representen tanto moléculas de fluoruro de hidrógeno (HF) como los iones fluoruro ( $\text{F}^-$ ) e hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ).

Se puede observar, en este caso, que este concepto ha sido correctamente representado.

#### *Acidez*

La acidez es una medida de la concentración molar de iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) en la solución. Como las soluciones de los frascos (1) y (2) tienen la misma concentración molar, se espera una representación de mayor número de partículas de ion hidronio en el caso del ácido fuerte, que en el débil.

Como se observa, en los dibujos han sido representadas 7 y 5 partículas de  $\text{H}_3\text{O}^+$  en los frascos (1) y (2) respectivamente por lo tanto el concepto de acidez ha sido correctamente representado.

#### *Ionización del agua*

La reacción de autoionización del agua se muestra en la representación de iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) y de iones hidróxido ( $\text{HO}^-$ ) junto con moléculas de agua sin ionizar. La limitación existente en este tipo de representaciones es cuantitativa debido al hecho de que la concentración de los iones provenientes de la mencionada reacción (del orden de  $1 \times 10^{-7} \text{M}$ ) es mucho menor que la del resto de las especies presentes en las soluciones y, por lo tanto, no se podría representar a escala.

La presencia de iones hidróxido e hidronios revela que en esta representación se ha tenido en cuenta la autoionización del agua.

#### *Electroneutralidad de la solución*

Esta condición de la solución en la que el número de cargas positivas es igual al número de cargas negativas se evalúa totalizando el número de iones positivos y negativos. Si ambos totales resultan iguales, entonces la solución sería neutra.

En este caso, en ambos frascos se representa correctamente la electroneutralidad de ambas soluciones.

Frasco (1)			
Aniones		Cationes	
$\text{Cl}^-$	5	$\text{H}_3\text{O}^+$	7
$\text{HO}^-$	2		

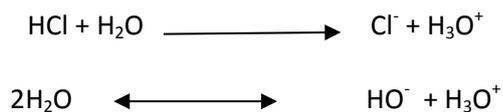
Frasco (2)			
Aniones		Cationes	
$\text{F}^-$	3	$\text{H}_3\text{O}^+$	5
$\text{HO}^-$	2		

### Especies presentes

Las especies presentes en la solución del ácido fuerte que deben estar representadas son:

$\text{Cl}^-$
$\text{H}_3\text{O}^+$
$\text{HO}^-$
$\text{H}_2\text{O}$

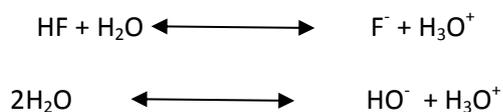
Estas especies resultan de las reacciones de ionización total del ácido y de la autoionización del agua, reacciones que se simbolizan respectivamente con las siguientes ecuaciones químicas:



Las especies presentes en la solución del ácido débil que deben estar representadas son:

$\text{F}^-$
$\text{HF}$
$\text{H}_3\text{O}^+$
$\text{HO}^-$
$\text{H}_2\text{O}$

Estas especies resultan de las reacciones de ionización parcial del ácido y de la autoionización del agua, reacciones que se simbolizan respectivamente con las siguientes ecuaciones químicas:



## Comparación entre GE y GC

A continuación, se indica el porcentaje de alumnos sobre el total de cada grupo, según el tipo de representación formada en la respuesta dada en este instrumento.

Porcentajes de alumnos que hicieron alguna representación	
Grupo Experimental	Grupo Control
100%	85%

### Distribución de alumnos según sus representaciones

Representación	Grupo Experimental		Grupo Control		$\Delta$ (GE -GC)
	cantidad	porcentaje	porcentaje	porcentaje	porcentaje
R0			3	15%	-15%
R1	1	5%			5%
R2					
R3			3	15%	-15%
R4	2	10,5%	7	35%	-24,5%
R5	2	10,5%	1	5%	5,5%
R6	14	74%	4	20%	54%
R7			2	10%	-10%
Total	19	100%	20	100%	

Se observa una amplia dispersión en las representaciones del GC y un elevado porcentaje volcado a la representación R6 en el GE. Solo un 15% de los alumnos del GC no hicieron ningún tipo de representación; consecuentemente el 85% del GC formó algún tipo de representación, a pesar de que durante la instrucción no se profundizó ese aspecto representacional del fenómeno.

Luego, de acuerdo con Callone y otros (2008), se los agrupó en los 4 modelos conceptuales M0 ... M3.

### Distribución de alumnos según sus modelos

En la tabla se presenta el porcentaje de alumnos sobre el total de ambos grupos, según el tipo de modelo conceptual asignado por la representación usada en la respuesta dada en este instrumento.

Modelos	Grupo Experimental		Grupo Control		$\Delta$ (GE -GC)
	cantidad	porcentaje	cantidad	porcentaje	porcentaje
M0	0	0 %	3	15 %	-15%
M1	0	0 %	0	0 %	0
M2	3	16 %	9	45 %	-29%
M3	16	84 %	8	40 %	44%
Total	19	100 %	20	100 %	

La gran mayoría de los alumnos del GE utilizan el modelo M3, un modelo mucho más complejo que los restantes ya que mediante él se pueden ilustrar todos los conceptos mencionados y sus relaciones. Este modelo da cuenta de un conocimiento más robusto y coherente, en contraste con un conocimiento frágil e incompleto. Esta preferencia sería el resultado de una instrucción en la cual se han mostrado distintos tipos de representaciones.

Por el contrario, a los alumnos del GC solo se los ha instruido con representaciones verbales o simbólicas, pero a pesar de esto, y como se muestra en la tabla anterior, solo un 15% del GC puede ser rotulado de

M0; es decir, el 85% del GC se animó a hacer algún tipo de representación que fue más allá de lo visto durante la secuencia de clases observadas.

### Conceptos correctamente ilustrados

En las siguientes tres tablas se indican los porcentajes de alumnos cuyas representaciones ilustran correctamente los conceptos de concentración nominal de las soluciones, fuerza ácida, acidez, ionización del agua, electroneutralidad de las soluciones, y cuyas representaciones muestran todas las especies presentes en ambas soluciones.

Los porcentajes fueron calculados tomando tres bases diferentes. Estas bases son: el total de alumnos de cada modelo, el total de alumnos de los modelos en los que se puede representar el concepto y el total de la muestra, en sendos casos para el GE y el GC. La letra "X" se ha puesto para indicar los casos correspondientes a conceptos que no pueden ser representados por un modelo dado.

El concepto de **concentración** se considera correctamente representado en todos aquellos casos en que el número de partículas iniciales sea igual en ambos recipientes, pues se trata de dos soluciones de igual concentración molar.

El concepto de **fuerza ácida** que se refiere a la diferencia entre un ácido fuerte y uno débil.

El concepto de **acidez** que se refiere a la concentración de ion hidronio en una solución. Se consideró correctamente representado en todos aquellos casos en los que se representaron mayor cantidad de iones hidronio en el frasco del ácido fuerte, que en el del débil.

La **ionización del agua** que se pone de manifiesto con la representación adicional de los iones hidróxido.

La **electroneutralidad** de la solución se pone en evidencia con la representación de igual cantidad de cargas positivas que negativas.

Las **especies presentes** consideran la representación de todas las especies presentes en las soluciones, aunque en el recuento no se consideró necesaria la presencia de agua, debido a que la mayoría de las representaciones utilizadas, tanto en los libros como en algunas clases, muestran esta simplificación; la de omitir al agua.

Conceptos correctamente ilustrados o representados														
Cantidad de alumnos por Modelo		Porcentaje sobre cada modelo												
		Concentración		Fuerza Ácida		Acidez		Ionización del agua		Electroneutralidad de la solución		Especies presentes		
		GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE
M2	3	9	X	X	0	22	X	X	67	33	X	X	0	22
M3	16	8	19	50	81	25	56	0	19	0	50	25	31	0

Conceptos correctamente ilustrados o representados											
Porcentaje sobre el total de alumnos que muestra algún modelo distinto del M0											
Concentración		Fuerza Ácida		Acidez		Ionización del agua		Electroneutralidad de la solución		Especies presentes	
GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC
16	24	68	24	47	0	26	18	42	12	26	12

Conceptos correctamente ilustrados o representados											
Porcentaje sobre el total de cada grupo											
Concentración		Fuerza Ácida		Acidez		Ionización del agua		Electroneutralidad de la solución		Especies presentes	
GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC
16	20	68	20	47	0	26	15	42	10	26	10

Los alumnos del GE superan a los del GC representando correctamente los conceptos en cuestión, excepto en lo relativo al concepto de concentración.

El concepto de fuerza ácida puede ser respondido ya sea haciendo uso del modelo M3, como también del M2, es decir por toda la muestra (sacando a aquellos alumnos M0 que se mencionaron previamente). Para este concepto de fuerza ácida se ve que en el GE contestan correctamente en un 68% de los casos, pero en el GC, solo en un 20%. Estos porcentajes son doblemente relevantes. Por un lado se observa que casi el 70% del GE pudo contestar correctamente a este concepto, y por otro lado se observa la enorme diferencia porcentual entre ambos grupos, dado que el  $\Delta$  es un 48%.

Hay otro concepto donde la diferencia entre ambos grupos es igualmente importante (47%) que es el concepto de acidez, pero, en este caso, para poder contestar correctamente a este concepto era necesario haber usado un modelo M3; es decir que más de la mitad del GC no puede contestar correctamente este concepto por no haber usado un modelo M3.

Algo parecido a esto mencionado recientemente sucede con la electroneutralidad de la solución, dado que solo puede contestarse correctamente si se hace uso de un modelo tipo M3. Este puede ser el motivo del 32% de diferencia de respuestas correctas entre ambos grupos.

Hay 2 conceptos en los que, si bien las diferencias son menores, el porcentaje de respuestas correctas en el GE es superior al de GC. Estos son ionización del agua y especies presentes, en estos casos las diferencias son un 11% y un 16% respectivamente.

El último de los conceptos analizados en este instrumento es el de concentración. En este caso, y a diferencia de todos los conceptos mencionados anteriormente, el porcentaje de respuestas correctas del GC supera al de GE. Las causas de esto podrían deberse a lo que se analizará más adelante, en el apartado de errores detectados en el GE.

### Relaciones correctas entre los conceptos de acidez, fuerza ácida y concentración

Este instrumento, a diferencia del 1 y el 2, no solo permite evaluar los conceptos mencionados, sino que además, revela la relación entre la acidez, la concentración inicial y la fuerza del ácido.

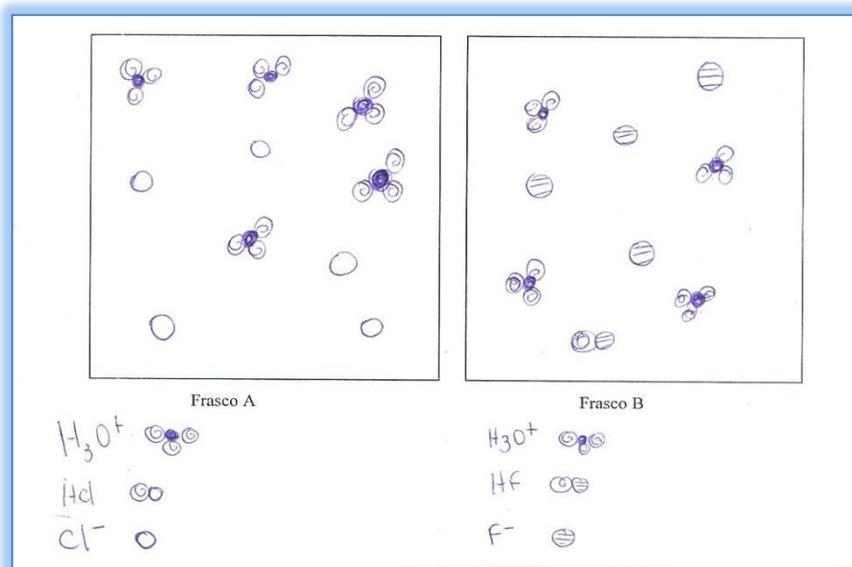
En la tabla precedente se observa que el concepto de fuerza ácida es el que aparece mejor representado. El 68% de los alumnos del grupo experimental tienen en claro la diferencia entre ácido fuerte y débil, aunque el concepto de acidez (47% correcto) no está bien relacionado con los conceptos de concentración y de fuerza ácida.

Solo dos alumnos del GE -el 10%- y ninguno del GC muestran en su representación la relación adecuada entre los conceptos de acidez, concentración y fuerza ácida; es decir, consideran a la acidez dependiente de dos variables independientes entre sí: la concentración y la fuerza ácida.

El modelo M3 es el único que permite dar cuenta de los conceptos de concentración, fuerza ácida y acidez en forma simultánea. Este modelo, más complejo que los demás, permite evaluar el tipo de vinculación entre estos tres conceptos. Si para la misma concentración molar la acidez resulta mayor en el caso del ácido fuerte, entonces, la relación entre estos conceptos es correcta.

A continuación, se muestra la representación de uno de estos alumnos.

Se puede observar que las especies y la cantidad de éstas que dibuja en ambos frascos corresponden a la misma concentración inicial. Como aplica correctamente el concepto de fuerza ácida (aunque no ha tenido en cuenta el valor de la constante del ácido débil), resulta que quedan representados más iones hidronios en el frasco A, que en el frasco B.



### Errores detectados

La siguiente tabla da cuenta de los errores que se pudieron advertir, la forma de detectarlos y cuál o cuáles son los modelos que habilitan la detección de tales ideas erróneas.

Idea errónea	Lo que se representa y que permite detectar la idea errónea	Modelo que permite la detección del error
La acidez es función únicamente de la concentración inicial	Cantidad de iones hidronio en el frasco A es igual a la del frasco B	M3
En el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos	La cantidad de iones fluoruro en el frasco B es igual a la cantidad de fluoruro de hidrógeno en el mismo frasco	M3
El ácido fuerte es el de mayor concentración	La suma de las cantidades de iones cloruro y cloruro de hidrógeno en el frasco A es mayor que la suma de iones fluoruro y fluoruro de hidrógeno en el frasco B	M1 y M3
Si el ácido es fuerte, hay que poner menos cantidad para que presente la misma acidez	La cantidad de iones hidronio es la misma en ambos frascos, mientras que la suma de las cantidades de iones cloruro y cloruro de hidrógeno en el frasco A es menor que la suma de iones fluoruro y fluoruro de hidrógeno en el frasco B	M1 y M3
No existe diferencia entre un ácido fuerte y uno débil	Igual representación	M1, M2 y M3

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla. En la primera columna para cada grupo se indican los porcentajes calculados sobre el total de cada grupo. En la segunda columna para cada grupo se indican los porcentajes calculados sobre el total de alumnos que realiza una representación que corresponde al modelo que permite la detección de ese error. Estos últimos porcentajes son calculados a partir de un número muy pequeño para los alumnos del grupo control debido a que menos de la mitad de esa muestra presenta el modelo M3. Es por este motivo que lo que se puede inferir de estos resultados carece de validez metodológica; se presentan con el único fin de mostrar una metodología de análisis posible para una muestra más numerosa.

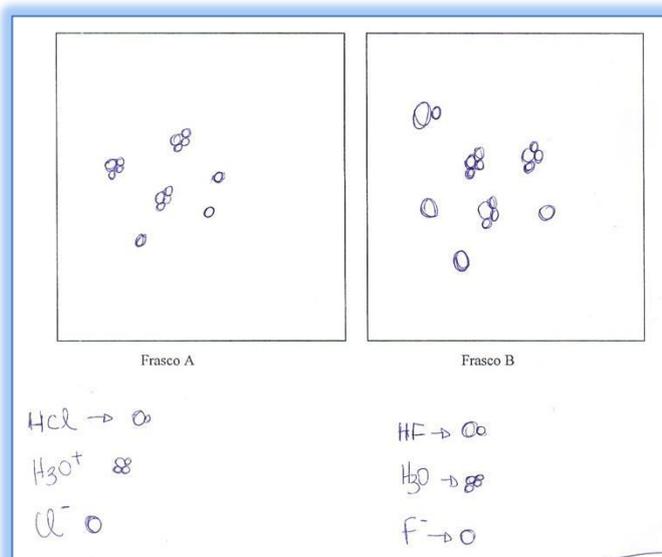
Idea errónea	Grupo Experimental		Grupo Control	
	% sobre el total del GE	% sobre M2 y/o M3	% sobre el total del GC	% sobre M2 y/o M3
La acidez es función únicamente de la concentración inicial	26	31	5	13
En el equilibrio hay igual cantidad de reactivos que de productos	37	44	0	0
El ácido fuerte es el de mayor concentración	16	19	5	13
Si el ácido es fuerte, hay que poner menos cantidad para que presente la misma acidez	53	63	15	38
No existe diferencia entre un ácido fuerte y uno débil	11	11	25	25

### Relación errónea de los conceptos de acidez, concentración y fuerza ácida

Cinco alumnos del GE que representan el **26%** de la muestra y **31%** sobre los que tienen un modelo M3 (representado en la tabla precedente) hicieron una representación que muestra que a igual concentración del ácido fuerte y débil, es igual la acidez, (Teoría de dominio: ***“La acidez es función únicamente de la concentración inicial de la solución ácida y no lo es de la fuerza del ácido”***, presentada por Callone y Torres en 2013).

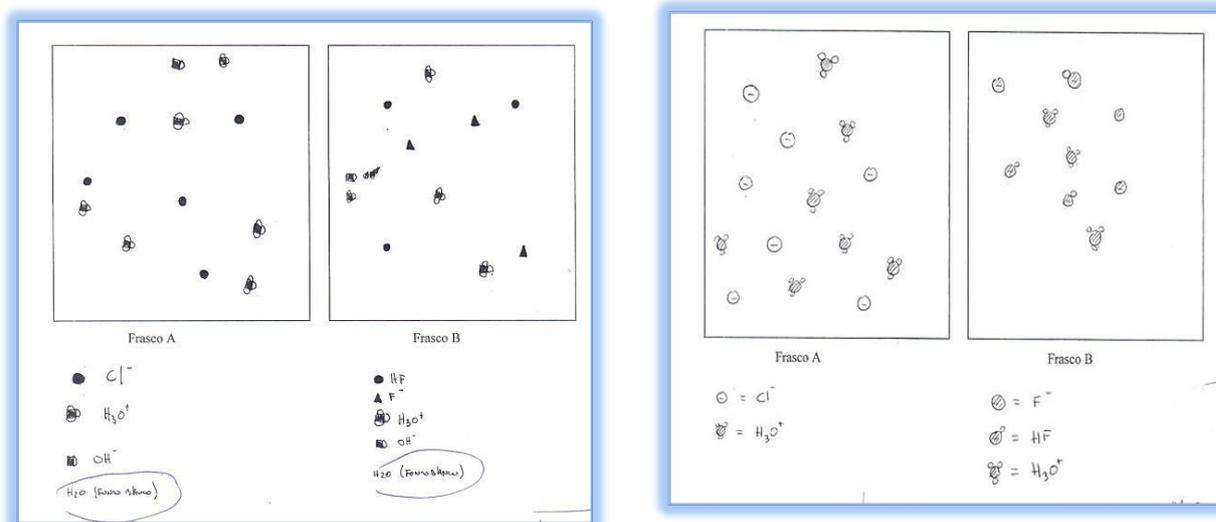
A la derecha se muestra la representación de uno de estos alumnos.

Se observa en esta representación que la cantidad de iones hidronio es la misma en ambos frascos. Igual acidez para dos soluciones de la misma concentración. Evidentemente, esto constituye un error, pues teniendo en cuenta que este alumno aplica correctamente el concepto de fuerza ácida, la concentración nominal de los frascos sería diferente (3 vs 4 en los frascos A y B respectivamente).



Si el ácido es fuerte, entonces representan mayor acidez. Vemos que 7 de los 9 alumnos del GE que representan correctamente la acidez -que representan el **37%** de la muestra total de 19 alumnos- se las ingenian “moviendo” ya sea aumentando o bajando la concentración inicial de las soluciones para que la concentración de hidronios (acidez) en el ácido fuerte sea mayor que en el débil. El “desconocimiento” de la consigna, en la que explícitamente indica que se disuelve la misma cantidad de ácido en un mismo volumen, da cuenta de una relación errónea y arraigada que opera negativamente en la construcción del concepto de acidez, (teoría de dominio: **“la acidez es mayor en el caso del ácido fuerte que en el caso del ácido débil, o sea, la acidez es independiente de la concentración inicial de la solución ácida”**). Este error se encuentra enmascarado en las respuestas correctas de los instrumentos 1 y 2, en el ítem a, cuando contestan que la concentración de ion hidronio es mayor para el caso del ácido fuerte que del débil.

A continuación, se muestran las representaciones de dos de estos alumnos, uno que aumenta y el otro que baja la concentración nominal del ácido fuerte con respecto al débil.



Lo que se observa en ambas representaciones es que la cantidad de iones hidronio es mayor en el frasco A que en el B y sin reparar en el hecho de que se trata de soluciones de igual concentración.

Las relaciones erróneas que se ponen en evidencia en las representaciones de los alumnos se constituirían en teorías de dominio en tanto que aflorarán en las respuestas que dieran los alumnos a otras situaciones en las que estos conceptos se pusieran en juego. Como teorías de dominio podrían ser expresadas como: “la acidez es función únicamente de la fuerza ácida” y “la acidez es función únicamente de la concentración inicial”. Los supuestos implícitos que se infieren para ambas son la reducción funcional y la fijación funcional, de origen epistemológico, descriptos por Furió y otros (2000).

## Análisis comparativo de los incisos 1, 2 y 3 del post-test

En sendos instrumentos se expresa una misma situación y se solicita que el alumno complete o realice una representación simbólica, verbal e icónica en los incisos 1, 2, 3 respectivamente.

Para poder establecer la comparación entre los primeros dos incisos y el inciso 3, se tuvieron en cuenta solo aquellos alumnos cuya representación icónica correspondió al modelo M3, debido a que este modelo es el único que permitiría cuantificar todas las especies presentes en los frascos. Sin embargo hay que tener presente que no todos los alumnos que representan un modelo M3 ionizan las especies y, por lo tanto, en tales casos es imposible establecer la comparación entre las cantidades / concentraciones de las especies solicitadas en las consignas de los incisos 1 y 2.

Como se indicó oportunamente, para el GE se consideraron 16 alumnos y para el GC 8 alumnos.

## Grupo Experimental

### GE- Preferencia de un registro sobre el otro

Ítem	Registro simbólico (% sobre 19 alumnos)				Registro verbal (% sobre 19 alumnos)				Registro icónico (% sobre 16 alumnos)			
	>	=	<	No contesta	Mayor	igual	Menor	No contesta	Mayor	igual	Menor	No ioniza los ácidos
a	<b>84</b>	5	11	0	<b>89</b>	5	5	0	<b>63</b>	31	0	6
b	5	<b>95</b>	0	0	0	<b>89</b>	11	0	6	<b>82</b>	6	6
c	16	<b>79</b>	5	0	11	<b>68</b>	21	0	6	<b>69</b>	19	6
d	<b>47</b>	42	11	0	<b>37</b>	47	16	0	<b>94</b>	0	0	6
e	47	0	<b>53</b>	0	16	11	<b>74</b>	0	38	44	<b>12</b>	6

Se revela una mayor preferencia de los registros simbólico y verbal en el ítem a) en tanto que el porcentaje de respuestas correctas para ese ítem es considerablemente superior en los dos registros mencionados, que en el icónico. En los ítems b y c no se aprecian diferencias significativas entre los porcentajes de respuestas correctas.

Por el contrario se observa en el ítem d una marcada diferencia a favor del registro icónico. Esta diferencia se explica teniendo en cuenta que la consigna de los incisos 1 y 2 es mal interpretada por los alumnos. La concentración en el frasco se confunde con la concentración inicial. La confusión se genera al haber puesto "en el frasco" en las consignas de los instrumentos. Este análisis ha sido presentado con anterioridad por Callone y Torres (2013).

Es notable la diferencia que existe entre el registro verbal y el icónico para el ítem e. Entre las causas encontradas, que justifican esta diferencia, se encuentran el error que cometen los alumnos al considerar que en el equilibrio habría igual cantidad de reactivos y de productos y la falta de cuantificación al no considerar el valor de  $k_a$ .

### GE- Congruencia e incongruencia

El hecho de que los alumnos realicen representaciones congruentes y correctas en sendos registros (simbólico, verbal e icónico) implica que estos alumnos comprenden mejor.

Los porcentajes son calculados sobre un total de 16 alumnos del GE, cuya representación icónica solicitada en el instrumento 3 corresponde al M3 pues sólo en este modelo es posible contabilizar las

concentraciones de todas las especies presentes en las soluciones de los ácidos fuerte y débil. La comparación de las mencionadas concentraciones es lo que se solicita en las consignas de los instrumentos 1 y 2.

Ítem	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Correctas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Erróneas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Incongruentes (%)	Cantidad de alumnos que No Contestan en sendos registros (%)
a	44	0	56	0
b	50	0	50	0
c	38	6	56	0
d	31	0	69	0
e	13	13	74	0
Porcentaje total sobre 80 respuestas	35	4	61	0

Se revela un mayor índice de congruencia en las respuestas correctas, que en las erróneas excepto en el ítem e.

Al comparar los porcentajes de respuestas congruentes correctas de los incisos 1 y 2 con los de los incisos 1, 2 y 3, es esperable que exista una disminución en los mencionados porcentajes. Este hecho se ilustra en la siguiente tabla.

Ítem	Respuestas Congruentes Correctas incisos 1 y 2 (%)	Respuestas Congruentes Correctas incisos 1, 2 y 3 (%)
a	74	44
b	89	50
c	63	38
d	<b>32</b>	<b>31</b>
e	37	13
Porcentaje total	sobre 95 respuestas <b>59%</b>	sobre 80 respuestas <b>35%</b>

Es esperable que no exista prácticamente variación en los porcentajes correspondientes al ítem d, por lo que se ha dicho con anterioridad. Este hecho se explica teniendo en cuenta que la consigna de los incisos 1 y 2 es mal interpretada por los alumnos. La concentración en el frasco se confunde con la concentración inicial. La concentración en el frasco corresponde a la concentración de la especie HCl en el seno de la solución y no a la concentración "inicial" de dicha especie, que es en realidad su concentración nominal.

Categorías de respuestas	Porcentaje (sobre 80)
Congruentes correctas	35 %
Congruentes erróneas	4%
Incongruentes	61%
No contesta	0%

La congruencia entre los 3 registros se presenta en un **39%** del alumnado de este grupo. El **35%** del GE parece lograr una mejor comprensión ya que sostiene un modelo mental más completo, mientras que solo un **4%** tiene ideas erróneas arraigadas con respecto al tema en cuestión.

**GC- Preferencia de un registro sobre el otro**

Ítem	Registro simbólico (% sobre 20 alumnos)				Registro verbal (% sobre 20 alumnos)				Registro icónico (% sobre 8 alumnos)			
	>	=	<	No contesta	Mayor	Igual	Menor	No contesta	Mayor	Igual	Menor	No ioniza los ácidos
A	<b>70</b>	25	5	0	<b>65</b>	25	10	0	<b>0</b>	13	13	74
B	10	<b>65</b>	20	5	15	<b>65</b>	20	0	0	<b>26</b>	0	74
C	15	<b>70</b>	10	5	15	<b>65</b>	15	5	0	<b>26</b>	0	74
D	<b>20</b>	50	25	5	<b>15</b>	55	30	0	<b>13</b>	0	13	74
E	30	5	<b>60</b>	5	5	5	<b>85</b>	5	0	0	<b>26</b>	74

**GC- Congruencia e incongruencia**

Los porcentajes son calculados sobre un total de 8 alumnos del grupo experimental cuya representación icónica solicitada en el instrumento 3 corresponde al M3 pues sólo en este modelo es posible contabilizar las concentraciones de todas las especies presentes en las soluciones de los ácidos fuerte y débil. La comparación de las mencionadas concentraciones es lo que se solicita en las consignas de los instrumentos 1 y 2.

Ítem	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Correctas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Erróneas (%)	Cantidad de alumnos / Respuestas Incongruentes (%)	Cantidad de alumnos que No Contestan en sendos registros (%)
A	0	0	100	0
B	13	0	87	0
C	13	0	87	0
D	0	13	87	0
E	13	0	87	0
Porcentaje total sobre 40 respuestas	8	3	89	0

**Los valores aquí encontrados son muy pequeños por lo tanto el análisis pierde validez. Como ya se dijo solo se presentan con el fin de ilustrar una metodología de análisis.**

Al comparar los porcentajes de respuestas congruentes correctas de los incisos 1 y 2 con los de los incisos 1, 2 y 3 es esperable que exista una disminución en los mencionados porcentajes. Para este grupo en particular, este hecho se pone más en evidencia como se puede observar en la siguiente tabla.

Ítem	Respuestas Congruentes Correctas Incisos 1,2 (%)	Respuestas Congruentes Correctas Incisos 1,2,3 (%)
A	60	0
B	55	13
C	60	13
D	10	0
E	60	13
Porcentaje total	sobre 100 respuestas <b>49%</b>	sobre 40 respuestas <b>8%</b>

Categorías de respuestas	Porcentaje (sobre 40)
Congruentes correctas	8%
Congruentes erróneas	3%
Incongruentes	89
No contesta	0

La congruencia entre los 3 registros se presenta solo en un **11%** del alumnado del este grupo.

## Comparación de los grupos experimental y control

### GE vs GC- Preferencia de un registro sobre el otro

Ítem	% de respuestas correctas instrumentos 1, 2, 3, registro preferido			
	GE		GC	
a	84%, 89%, 63%	verbal	70%, 65%, 0%	simbólico
b	95%, 89%, 82%	simbólico	65%, 65%, 26%	simbólico/verbal
c	79%, 68%, 69%	simbólico	70%, 65%, 26%	simbólico
d	47%, 37%, 94%	icónico	20%, 15%, 13%	simbólico
e	53%, 74%, 12%	verbal	60%, 85%, 26%	verbal

Se observa que **el GE manifiesta una dispersión en su preferencia en cuanto al registro, o sea es multi-registro** y no mono-registro; esto es consecuencia de la instrucción recibida por los alumnos de este grupo, que incluyó la utilización de representaciones externas realizadas en diferentes registros semióticos. Esta afirmación se validó con las observaciones de clases efectuadas.

### GE vs GC - Comparación de las congruencias e incongruencias, en particular, de cada ítem del instrumento

Ítem	Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes (%)		Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Correctas (%)		Cantidad de alumnos / Respuestas Congruentes Erróneas (%)	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
a	44	0	44	0	0	0
b	50	13	50	13	0	0
c	44	13	38	13	6	0
d	31	13	31	0	0	13
e	26	0	13	13	13	0
Total	39	11	35	8	4	3

Estos últimos porcentajes también fueron calculados a partir de un número muy pequeño para los alumnos del GC. Es por este motivo que lo que se puede inferir de estos resultados carece de validez metodológica y se presenta con el único fin, como ya se ha mencionado, de mostrar una metodología de análisis posible para una muestra más numerosa.

### Instrumento

4) Dos frascos contienen  $1 \text{ dm}^3$  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, indique si las siguientes afirmaciones son correctas (C) o incorrectas (I):

Frasco A:

- a- En esta solución 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 esta solución 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- Al tratarse de una solución de un ácido fuerte, en esta solución 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 esta solución 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 esta solución 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 esta solución quedan moléculas de fluoruro de hidrógeno disueltas, pero en una cantidad menor que 0,1 mol.

Test expresado en registros simbólico verbal y específico. En este instrumento se enuncia la misma situación que en los instrumentos 1, 2 y 3 en registro verbal y simbólico específico. Es un test de opciones múltiples expresadas en registro simbólico verbal, que se pretende usar para la triangulación de resultados.

Al igual que en los instrumentos 1,2 y 3, los conceptos que se ponen a prueba son muchos y de variados temas. Entre ellos se pueden mencionar los conceptos de: solución, concentración de las soluciones, molaridad, fuerza ácida (ácido fuerte y ácido débil), el concepto de acidez y el de la relación estequiométrica de las reacciones.

Se ha tomado con el objetivo de ser usado en la triangulación con los resultados de otros incisos, tanto para medir la comprensión como para determinar errores.

## Resultados

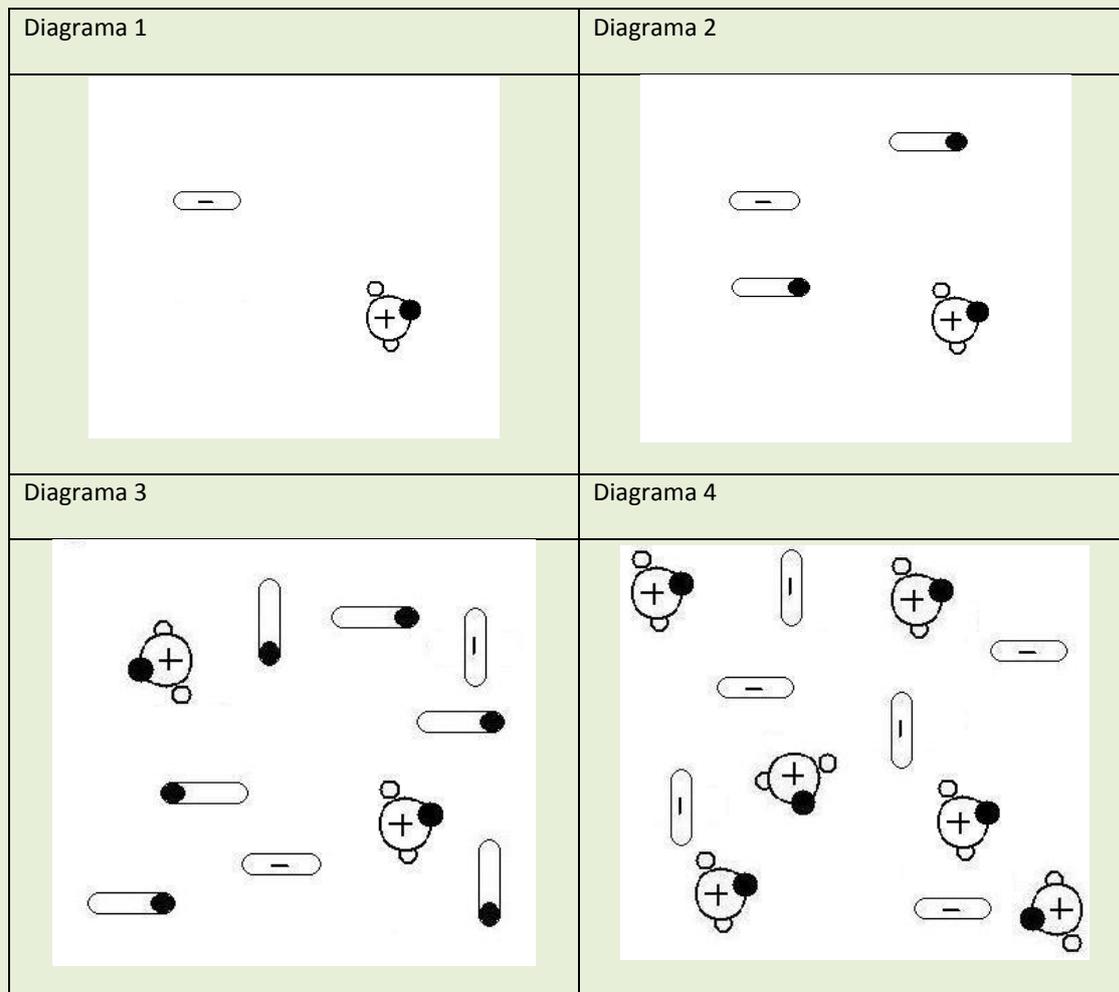
Opción Frasco A	Porcentajes de respuestas sobre el total de cada grupo					
	Correctas		Incorrectas		No contesta	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
a-	95	70	0	25	5	5
b-	79	75	16	20	5	5
c-	74	70	21	25	5	5
d-	79	75	16	20	5	5

Opción Frasco B	Porcentajes de respuestas sobre el total de cada grupo					
	Correctas		Incorrectas		No contesta	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
a-	74	70	21	25	5	5
b-	68	60	27	35	5	5
c-	74	90	21	5	5	5
d-	79	65	16	30	5	5

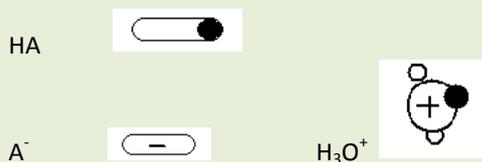
**Inciso 9**

**Instrumento**

9) Los siguientes diagramas tratan de representar, a nivel submicroscópico o molecular, soluciones de ácidos. No se han representado las moléculas de agua ni los iones hidronio e hidróxido provenientes de su autoionización, para simplificar el dibujo.



El significado de las distintas figuras que aparecen en los diagramas es el siguiente:



Indique con el número del diagrama aquel o aquellos que representan a:

- a) la o las soluciones de ácidos fuertes. ....
- b) la solución de mayor concentración. ....
- c) las soluciones que tienen la misma acidez. ....
- d) la solución de mayor acidez. ....

**Tipo de representación mostrada en el instrumento.** En este instrumento se indican cuatro representaciones icónicas del nivel sub-microscópico de cuatro soluciones ácidas.

El diagrama 1 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado), es la de menor concentración inicial (proviene de una partícula de reactivo), tiene la misma acidez que la solución del diagrama 2 y junto con ella son las de menor acidez (un ion hidronio).

El diagrama 2 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado) de concentración inicial intermedia (proviene de tres moléculas de reactivo) y tiene la misma acidez que la solución del diagrama 1.

El diagrama 3 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado), es la de mayor concentración inicial (proviene de ocho partículas de reactivo) y tiene una acidez intermedia (dos iones hidronio).

El diagrama 4 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado) y corresponde a la solución de mayor acidez (mayor número de iones hidronio representados).

Las representaciones icónicas utilizadas consisten en más de una partícula de por lo menos una de las especies (excepto en el diagrama 1 que se ha representado una mínima concentración de un ácido fuerte); en ellas se muestra la conformación de las partículas y se explicitan las referencias de cada ícono diferente.

**Tipo de representación solicitada a los alumnos.** Se solicita la identificación de diferentes soluciones con el número de diagrama correspondiente.

Instrumento	Registro en que se ha formulado	Registro solicitado al alumno
Post-test 9	Verbal e icónico	simbólico

**Conceptos que se evalúan con este instrumento.** Con este instrumento se pretende indagar acerca de los conceptos de fuerza ácida (ítem a), concentración (ítem b) y también de acidez (ítems c y d).

#### Referencias para el análisis.

Las respuestas correctas se indican en la siguiente tabla

Ítem	Consigna	Respuesta Correcta
a)	la o las soluciones de ácidos fuertes	1 y 4
b)	la solución de mayor concentración	3
c)	las soluciones que tienen la misma acidez	1 y 2
d)	la solución de mayor acidez	4

Las respuestas incorrectas puede ser indicadores de algunas concepciones erróneas que sostienen los alumnos con respecto a estos conceptos. En la siguiente tabla se muestran las posibles repuestas incorrectas y su vinculación con las ideas erróneas subyacentes a ellas.

<b>Ítem a) la o las soluciones de ácidos fuertes ...</b>	
<b>1</b>	Bien pero incompleta
<b>2</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento
<b>3</b>	El ácido fuerte sería el de mayor concentración o el de mayor concentración de la especie HA
<b>4</b>	El ácido fuerte sería el de mayor acidez
<b>1 y 2</b>	Los antecedentes (Alí y otros, 2012) revelan que la amplia mayoría de los alumnos que eligen estas representaciones sostienen que: "El ácido fuerte se disocia totalmente y por lo tanto quedará menos cantidad de partículas totales $H_3O^+$ , HA y $A^-$ en la solución en comparación con el ácido débil, mientras que una importante porción de aquellos alumnos sostienen que: "Cuando el ácido es fuerte, es suficiente con poner poca cantidad para que manifieste sus propiedades ácidas"
<b>1 y 3</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento. <i>"De acuerdo a lo que Piaget denominaba "n'importe quisme", no toda respuesta inesperada tiene porqué responder a algún patrón lógico identificable. Sin embargo, si se parte de este principio y no se investiga más a fondo, se corre el riesgo de pasar por alto algún posible significado oculto (Astolfi, 1999)." Alí y otros(2012)</i>
<b>2 y 3</b>	El ácido fuerte sería confundido con el ácido débil por ser el que presenta moléculas de ácido en la representación. Según el estudio llevado a cabo por Alí y otros (2012), la amplia mayoría de la muestra de tal oportunidad pensaba que: "en los ácidos fuertes el HA debe estar presente porque es la especie ácida" y que "si el ácido es fuerte, la unión química entre el átomo de H y el de A será fuerte y por lo tanto la molécula de HA no se puede separar fácilmente".
<b>2 y 4</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento.
<b>3 y 4</b>	El ácido fuerte sería el de mayor concentración y / acidez

<b>Ítem b) la solución de mayor concentración...</b>	
<b>1</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento
<b>2</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento
<b>4</b>	Sería la de mayor acidez

<b>Ítem c) las soluciones que tienen la misma acidez...</b>	
<b>1 y 3</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento
<b>1 y 4</b>	Serían las de los ácidos fuertes
<b>2 y 3</b>	Serían la de los ácidos débiles (indagado en la encuesta a una alumna)
<b>2 y 4</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento
<b>3 y 4</b>	Serían las más concentradas

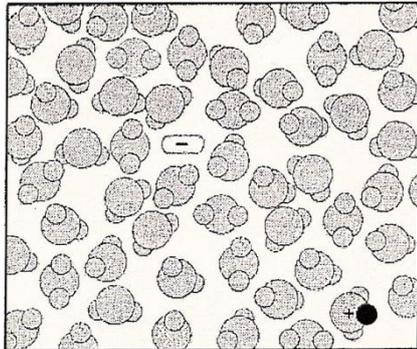
<b>Ítem d) la solución de mayor acidez ...</b>	
<b>1</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento
<b>2</b>	No puede inferirse el posible patrón de razonamiento
<b>3</b>	Sería la más concentrada en la especie HA

## Antecedentes

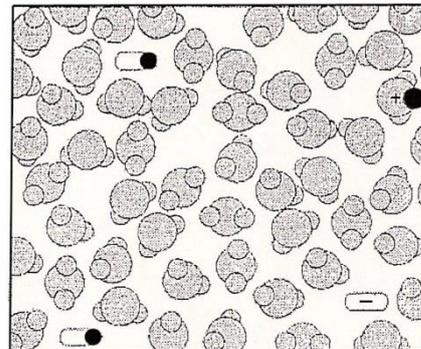
En el diseño de este instrumento se tuvo en cuenta el trabajo de Alí y otros (2012). A continuación se muestra la representación icónica utilizada en ese trabajo.

“Los siguientes diagramas tratan de representar una porción a nivel sub-microscópico de cuatro soluciones acuosas de ácidos”.

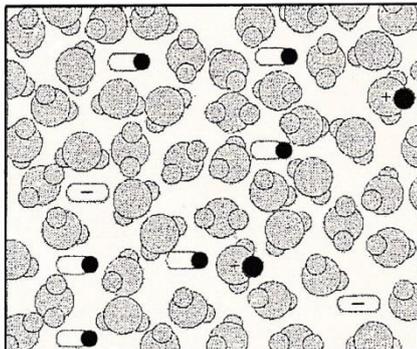
1.



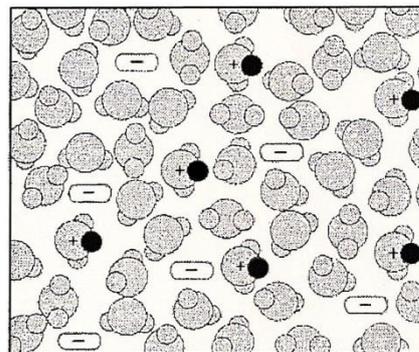
2.



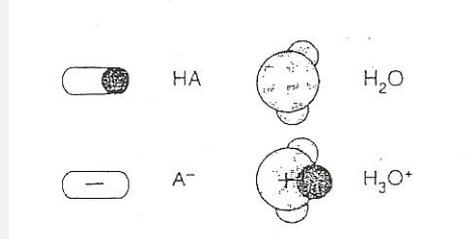
3.



4.



El significado de las distintas figuras que aparecen en los diagramas es el siguiente:



**Pregunta a)** Sabiendo que dos de ellos corresponden a ácidos fuertes y dos a ácidos débiles, indica el número del diagrama que piensas que representa a cada uno.

Ácidos fuertes: Diagr. N°  y N°       Ácidos débiles: Diagr. N°  y N°

**Pregunta b)** Sabiendo que dos de ellos corresponden a soluciones más concentradas y dos a soluciones más diluidas, indica el número del diagrama que piensas que representa a cada uno.

Soluciones concentradas: Diagr. N°  y N°       Soluc. diluidas: Diagr. N°  y N°

Se han modificado los diagramas eliminando el agua de las representaciones con la finalidad de simplificar la lectura del dibujo. Se cambiaron las consignas ya que se pretendía indagar no solo en los conceptos de fuerza ácida y concentración, sino además en el concepto de acidez.

## Resultados

Ítem	Porcentajes de respuestas sobre el total de cada grupo					
	Correctas		Incorrectas		No contesta	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
a)	63	30	32	70	5	0
b)	42	40	52	60	5	0
c)	68	65	27	10	5	0
d)	74	60	16	35	5	0

Aclaración: No se presenta en la tabla la columna correspondiente a las respuestas inconsistentes, que son aquellas en las cuales los alumnos responden más de un diagrama cuando se pide solo uno, o en otro caso contestan solo uno cuando se le solicita más de un diagrama.

El 25% del GC no cumplió la consigna, al indicar un solo diagrama en lugar de más de uno. Este tipo de respuestas inconsistentes no está indicado en la tabla anterior, por eso, como se observa, los valores no suman 100% para el GC.

El 5% tanto del GE como del GC no cumplió la consigna de indicar un solo diagrama, en lugar de más de uno. Este tipo de respuestas inconsistentes no está indicado en la tabla anterior, por eso, como se observa, los valores no suman 100%.

Alumnos que responden correctamente todos los ítems:

Grupo Experimental	Grupo Control
32%	10%

El porcentaje de alumnos que responde todos los ítems de manera correcta es de un **32%** para el GE y **10%** para el GC. Estos alumnos tendrían un modelo mental en el cual existirían las vinculaciones correctas entre los conceptos de fuerza ácida, acidez y concentración. Estos alumnos estarían aplicando con buenos logros el mencionado modelo a diferentes situaciones.

En las siguientes tablas se muestra la distribución de respuestas de cada ítem para el GE y el GC, y la posible concepción en la que se basan estas respuestas.

### Resultados del ítem a)

<i>"la o las soluciones de ácidos fuertes ..."</i>		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>1 y 4</b>	Correcta	<b>63</b>	<b>30</b>
<b>1</b>		0	5
<b>2</b>		5	5
<b>3</b>	El ácido fuerte es el de mayor concentración o el de mayor concentración de la especie HA	5	5
<b>4</b>	El ácido fuerte sería el de mayor acidez	5	10
<b>1 y 2</b>	El ácido es fuerte es aquel que con poner poca cantidad manifiesta sus propiedades ácidas	0	0
<b>1 y 3</b>		0	0
<b>2 y 3</b>	El ácido fuerte es aquel que presenta unión intramolecular fuerte	<b>5</b>	<b>25</b>
<b>2 y 4</b>		0	0
<b>3 y 4</b>	El ácido fuerte sería el de mayor concentración y / acidez	<b>11</b>	<b>20</b>
	No contesta	5	0

Los alumnos del GE superan ampliamente a los del GC en la correcta identificación de la representación sub-microscópica de los ácidos fuertes. Se pone en evidencia un porcentaje no despreciable de alumnos del GC que sostendrían las siguientes concepciones erróneas respecto del ácido fuerte, relacionándolo, por un lado con la unión intramolecular fuerte y por otro, con la mayor concentración y/ o acidez.

### Resultados del ítem b)

<i>"la solución de mayor concentración..."</i>		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>3</b>	Correcta	<b>42</b>	<b>40</b>
<b>1</b>		0	5
<b>2</b>		5	5
<b>4</b>	La solución de mayor concentración sería la de mayor acidez	<b>47</b>	<b>50</b>
	No contesta	5	0

Menos de la mitad de ambos grupos pudo reconocer una porción sub-microscópica de la solución de mayor concentración. La concentración de la solución se refiere a un sistema inicial que no se encuentra representado en una porción sub-microscópica de la solución en equilibrio, por lo tanto se debe inferir a partir de esta última. Resulta ser una operación de pensamiento más compleja ya que no se basa en una representación concreta, como son las presentadas en los diagramas. Tal vez sea una consecuencia de esta complejidad el hecho de que los alumnos vinculen la concentración a la acidez que efectivamente se encuentra representada con las partículas de  $H_3O^+$ . Los alumnos no logran establecer una correcta vinculación entre la acidez, la concentración y la fuerza ácida. Para estos alumnos la acidez resulta ser función únicamente de la concentración inicial de la solución.

### Resultados del ítem c)

<i>"las soluciones que tienen la misma acidez..."</i>		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>1 y 2</b>	Correcta	<b>68</b>	<b>65</b>
<b>1 y 3</b>		0	0
<b>1 y 4</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían las de los ácidos fuertes	11	10
<b>2 y 3</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían la de los ácidos débiles	11	0
<b>2 y 4</b>		0	0
<b>3 y 4</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían las más concentradas	5	0
	No contesta	5	0
	Respuestas inconsistentes (*)	0	20

(\*) Son aquellas respuestas en las que los alumnos indican un solo diagrama cuando se les pide indicar más de uno.

Ambos grupos identifican en un elevado porcentaje aquellas soluciones que tienen la misma acidez. Con respecto a la comparación del ítem anterior, resulta menos complejo contar las partículas de la especie  $H_3O^+$  que inferir la concentración inicial de la solución.

El elevado porcentaje de respuestas inconsistentes en el GC podría deberse a aquellos alumnos que miden la acidez a través de la concentración de la especie ácida HA (en ninguno de los cuatro diagramas del instrumento se ha representado la misma cantidad de HA)

### Resultados del ítem d)

<i>"la solución de mayor acidez ..."</i>		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>4</b>	Correcta	<b>74</b>	<b>60</b>
<b>1</b>		0	5
<b>2</b>		0	5
<b>3</b>	La solución de mayor acidez sería la más concentrada en la especie HA	16	25
	No contesta	5	0
	Respuesta inconsistente(*)	5	5

(\*) Son aquellas respuestas en las que los alumnos indican dos diagramas en este caso que se les solicita indicar uno solo.

Se observa que los porcentajes de respuestas correctas son elevados para ambos grupos, y ligeramente mejor para el GE que para el GC. Se pone en evidencia que un grupo considerable de alumnos de ambos grupos en estudio estarían midiendo la acidez de la solución por la cantidad de la especie ácida HA.

### Otras observaciones.

**No todas las concepciones erróneas generan respuestas erróneas.** Luego de una entrevista realizada a una alumna<sup>2</sup> no perteneciente a ninguno de los grupos, se puso en evidencia que ante la respuesta correcta al ítem d) subyacía la concepción errónea de "que la solución de mayor acidez es la del ácido

<sup>2</sup> Alumna de química de CBC quien fue entrevistada por el investigador con posterioridad a la realización del post- test, con el objetivo de indagar exhaustivamente en sus ideas. La elección de esta alumna obedeció a criterios de disponibilidad y accesibilidad.

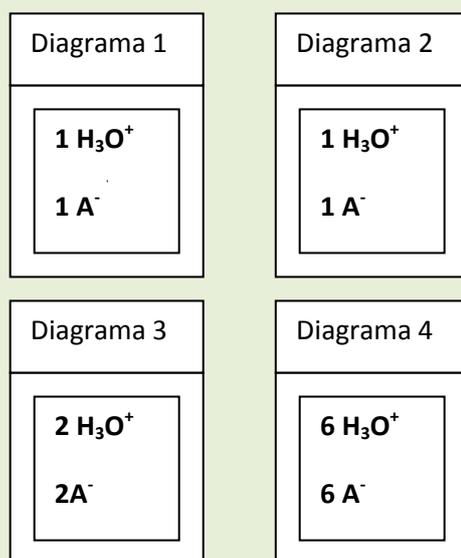
fuerte”. Se desprende de esta entrevista que la alumna piensa “a la ligera” pues había reconocido correctamente dos soluciones de ácidos fuertes y no únicamente la representada en el diagrama 4. ¿Qué se quiere decir con que la alumna piensa “a la ligera”? Se entiende que esta alumna no revisa sus respuestas en su conjunto, o no reflexiona respecto de las relaciones que se pueden establecer entre todas las respuestas dadas. La seguridad con la que explicó por qué eligió la respuesta 4 para el ítem en cuestión haría pensar que existe algún tipo de proposición que ha internalizado y que guiaría su respuesta. Esta sería, como ya se indicó, que los ácidos fuertes son los de mayor acidez.

Con respecto al instrumento, no ha sido correcto haber elegido como ejemplo de la solución más ácida a la más concentrada, pues ya se sabía que podía enmascarar una concepción errónea. Una propuesta para mejorar el instrumento sería la de aumentar la acidez en el diagrama 3 (representando 4 iones hidronios y con sus respectivos contra-iones) y bajar la acidez en el diagrama 4 (representando 3 iones hidronio y sus respectivos contra-iones)

## Inciso 9 bis

### Instrumento

9 bis) En los siguientes diagramas se representa la composición de una porción sub-microscópica o molecular de distintas soluciones de ácidos, en los que se han omitido las moléculas de agua y los productos de su autoionización.



Indique con el número del diagrama aquel o aquellos que representan a:

- la o las soluciones de ácidos fuertes. . . . .
- la solución de mayor concentración. . . . .
- las soluciones que tienen la misma acidez. . . . .
- la solución de mayor acidez. . . . .

**Tipo de representación mostrada en el instrumento.** Este instrumento está basado en representaciones simbólicas a nivel sub-microscópico de cuatro soluciones ácidas. Estas representaciones simbólicas no son

las representaciones convencionales que se utilizan en química. Los números que se escriben delante de cada fórmula indican, en este caso en particular, la cantidad de cada una de esas especies presentes en una porción sub-microscópica de cuatro soluciones. En este aspecto cuantitativo comparte la información que brinda una representación icónica. No muestra la conformación de las partículas ni su distribución espacial. Este instrumento sería semejante en todos sus aspectos al instrumento 9, y la única diferencia consiste en que no se han dibujado las partículas de las especies presentes, sino que se han simbolizado.

El diagrama 1 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado); es la de menor concentración inicial (proviene de una partícula de reactivo), tiene la misma acidez que la solución del diagrama 2 y junto con ella son las de menor acidez (un ion hidronio).

El diagrama 2 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado) de concentración inicial intermedia (proviene de tres moléculas de reactivo) y tiene la misma acidez que la solución del diagrama 1.

El diagrama 3 representa una solución cuyo soluto es un ácido débil (parcialmente ionizado); es la de mayor concentración inicial (proviene de ocho partículas de reactivo) y tiene una acidez intermedia (dos iones hidronio).

El diagrama 4 representa una solución cuyo soluto es un ácido fuerte (totalmente ionizado) y corresponde a la solución de mayor acidez (mayor número de iones hidronio representados).

Es importante recalcar que este tipo de representación no es utilizada por los químicos, ni se presenta en la bibliografía, ni suele ser utilizada por los profesores.

**Tipo de representación solicitada a los alumnos.** Se solicita la identificación de diferentes soluciones con el número de diagrama correspondiente.

Instrumento	Registro en que se ha formulado	Registro solicitado al alumno
Post-test 9bis	Verbal e simbólico	simbólico

**Conceptos que se evalúan con este instrumento.** Con este instrumento se pretende indagar acerca de los conceptos de fuerza ácida (ítem a), concentración (ítem b) y también de acidez (ítems c y d).

**Referencias para el análisis.** Las respuestas correctas se indican en la siguiente tabla

Ítem	Consigna	Respuesta Correcta
a)	la o las soluciones de ácidos fuertes	1 y 4
b)	la solución de mayor concentración	3
c)	las soluciones que tienen la misma acidez	1 y 2
d)	la solución de mayor acidez	4

## Resultados

Ítem	Porcentajes de respuestas sobre el total de cada grupo					
	Correctas		Incorrectas		No contesta	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC
a)	79	35	21	60	0	5
b)	47	45	47	45	0	0
c)	79	55	21	30	0	5
d)	74	60	26	35	0	0

Aclaración: No se presenta en la tabla la columna correspondiente a las respuestas inconsistentes, que son aquellas en las cuales los alumnos responden más de un diagrama cuando se pide solo uno, o en otro caso contestan solo uno cuando se le solicitan más de un diagrama. Los porcentajes de respuestas inconsistentes fueron: en ítem b: 5% del GC; en el ítem c: 10% del GC; en el ítem d: 5% del GC.

Alumnos que responden correctamente todos los ítems:

Grupo Experimental	Grupo Control
37%	15%

La cantidad de alumnos (expresada en %) que responde todos los ítems de manera correcta es de un **37%** para el GE y **15%** para el GC. Estos alumnos tendrían un modelo mental en el cual existirían las vinculaciones correctas entre los conceptos de fuerza ácida, acidez y concentración. Estos alumnos estarían aplicando con buenos logros el mencionado modelo a diferentes situaciones.

En las siguientes tablas se muestra la distribución de respuestas de cada ítem para el GE y el GC, y la posible concepción en la que se basan estas respuestas

### Resultados del ítem a)

"la o las soluciones de ácidos fuertes ..."		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>1 y 4</b>	Correcta	<b>79</b>	<b>35</b>
<b>1</b>		0	0
<b>2</b>		0	5
<b>3</b>	El ácido fuerte es el de mayor concentración o el de mayor concentración de la especie HA	0	0
<b>4</b>	El ácido fuerte es el de mayor acidez	5	5
<b>1 y 2</b>	El ácido es fuerte es aquel que con poner poca cantidad manifiesta sus propiedades ácidas	0	0
<b>1 y 3</b>		0	0
<b>2 y 3</b>	El ácido fuerte es aquel que presenta unión intramolecular fuerte	<b>11</b>	<b>30</b>
<b>2 y 4</b>		0	0
<b>3 y 4</b>	El ácido fuerte es el de mayor concentración y acidez	<b>5</b>	<b>20</b>
	No contesta	0	5

Los alumnos del GE superan ampliamente a los del GC en la correcta identificación de la representación sub-microscópica de los ácidos fuertes. Se pone en evidencia un porcentaje no despreciable a alumnos del GC que sostendrían las siguientes concepciones erróneas respecto del ácido fuerte relacionándolo, por un lado con la unión intramolecular fuerte y por otro, con la mayor concentración y/ o acidez.

### Resultados del ítem b)

<i>"la solución de mayor concentración..."</i>		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>3</b>	Correcta	<b>47</b>	<b>45</b>
<b>1</b>		0	0
<b>2</b>		5	5
<b>4</b>	La solución de mayor concentración sería la de mayor acidez	<b>42</b>	<b>40</b>
	No contesta	0	0
	Respuestas inconsistentes (*)	0	5

(\*) Son aquellas respuestas en las que los alumnos indican dos diagramas en este caso, que se les solicita indicar uno solo.

Menos de la mitad de ambos grupos pudieron reconocer una porción sub-microscópica de la solución de mayor concentración. La concentración de la solución se refiere a un sistema inicial que no se encuentra representado en una porción sub-microscópica de la solución en equilibrio, por lo tanto se debe inferir a partir de esta última. Resulta ser una operación de pensamiento más compleja ya que no se basa en una representación concreta como son las presentadas en los diagramas. Tal vez sea una consecuencia de esta complejidad el hecho de que los alumnos vinculen la concentración a la acidez que efectivamente se encuentra representada con las partículas de  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Los alumnos no logran establecer una correcta vinculación entre la acidez, la concentración y la fuerza ácida. Para estos alumnos la acidez resulta ser función únicamente de la concentración inicial de la solución.

### Resultados del ítem c)

<i>"las soluciones que tienen la misma acidez..."</i>		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>1 y 2</b>	Correcta	<b>79</b>	<b>55</b>
<b>1 y 3</b>		0	0
<b>1 y 4</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían las de los ácidos fuertes	<b>11</b>	<b>20</b>
<b>2 y 3</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían la de los ácidos débiles	<b>11</b>	<b>10</b>
<b>2 y 4</b>		0	0
<b>3 y 4</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían las más concentradas	0	0
	No contesta	0	5
	Respuestas inconsistentes (*)	0	10

(\*) Son aquellas respuestas en las que los alumnos indican un solo diagrama cuando se les pide indicar más de uno.

Ambos grupos identifican en un elevado porcentaje aquellas soluciones que tienen la misma acidez, pero el GE supera ampliamente al GC en este aspecto. Con respecto a la comparación del ítem anterior, resulta menos complejo contar las partículas de la especie  $\text{H}_3\text{O}^+$  que inferir la concentración inicial de la solución.

Se pone en evidencia un porcentaje no despreciable de alumnos tanto del GE como del GC que sostendría las siguientes concepciones erróneas respecto de las soluciones de la misma acidez, relacionándolas con aquellas soluciones de ácidos fuertes, o bien con las de los ácidos débiles.

### Resultados del ítem d)

<i>" la solución de mayor acidez ..."</i>		Respuestas en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC
<b>4</b>	Correcta	<b>74</b>	<b>60</b>
<b>1</b>		5	10
<b>2</b>		0	10
<b>3</b>	La solución de mayor acidez sería la más concentrada en la especie HA	<b>21</b>	<b>15</b>
	No contesta	0	0
	Respuesta inconsistente(*)	0	5

(\*) Son aquellas respuestas en las que los alumnos indican dos diagramas en este caso, que se les solicita indicar uno solo.

Se observa que los porcentajes de respuestas correctas son elevados para ambos grupos, y mejor para el GE que para el GC. Se pone en evidencia que un grupo considerable de alumnos de ambos grupos en estudio estarían midiendo la acidez de la solución por la cantidad de la especie ácida HA.

## Resultados comparativos entre inciso 9 y 9bis

Comparación de los resultados obtenidos de los instrumentos 9 y 9bis

Ítem a) la o las soluciones de ácidos fuertes ...		Instrumento 9 Respuestas en %		Instrumento 9 bis Respuestas en %		Respuestas congruentes en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC	GE	GC	GE	GC
<b>1 y 4</b>	Correcta	<b>63</b>	<b>30</b>	<b>79</b>	<b>35</b>	<b>63</b>	<b>30</b>
<b>1</b>		0	5	0	0	0	0
<b>2</b>		5	5	0	5	0	0
<b>3</b>	El ácido fuerte es el de mayor concentración o el de mayor concentración de la especie HA	5	5	0	0	0	0
<b>4</b>	El ácido fuerte es el de mayor acidez	5	10	5	5	0	5
<b>1 y 2</b>	El ácido es fuerte es aquel que con poner poca cantidad manifiesta sus propiedades ácidas	0	0	0	0	0	0
<b>1 y 3</b>		0	0	0	0	0	0
<b>2 y 3</b>	El ácido fuerte es aquel que presenta unión intramolecular fuerte	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>11</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
<b>2 y 4</b>		0	0	0	0	0	0
<b>3 y 4</b>	El ácido fuerte es el de mayor concentración y acidez	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>20</b>
	No contesta	5	0	0	5	0	0

Ítem b) la solución de mayor concentración...		Instrumento 9 Respuestas en %		Instrumento 9 bis Respuestas en %		Respuestas congruentes en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC	GE	GC	GE	GC
<b>3</b>	correcta	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>37</b>	<b>30</b>
<b>1</b>		0	5	0	0	0	0
<b>2</b>		5	5	5	5	0	5
<b>4</b>	La solución de mayor concentración sería la de mayor acidez	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>32</b>	<b>30</b>
	No contesta	5	0	0	0	0	0
	Respuestas inconsistentes (*)	0	0	0	5	0	0

Ítem c) Las soluciones que tienen la misma acidez...		Instrumento 9 Respuestas en %		Instrumento 9 bis Respuestas en %		Respuestas congruentes en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC	GE	GC	GE	GC
<b>1 y 2</b>	Correcta	<b>68</b>	<b>65</b>	<b>79</b>	<b>55</b>	<b>68</b>	<b>50</b>
<b>1 y 3</b>		0	0	0	0	0	0
<b>1 y 4</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían las de los ácidos fuertes	11	10	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>10</b>
<b>2 y 3</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían la de los ácidos débiles	11	0	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>0</b>
<b>2 y 4</b>		0	0	0	0	0	0
<b>3 y 4</b>	Las soluciones que tienen la misma acidez serían las más concentradas	5	0	0	0	0	0
	No contesta	5	0	0	5	0	0
	Respuestas inconsistentes (*)	0	20	0	10	0	0

Ítem d) la solución de mayor acidez ...		Instrumento 9 Respuestas en %		Instrumento 9 bis Respuestas en %		Respuestas congruentes en %	
Respuesta	Concepción	GE	GC	GE	GC	GE	GC
<b>4</b>	Correcta	<b>74</b>	<b>60</b>	<b>74</b>	<b>60</b>	<b>79</b>	<b>75</b>
<b>1</b>		0	5	5	10	0	5
<b>2</b>		0	5	0	10	0	0
<b>3</b>	La solución de mayor acidez sería la más concentrada en la especie HA	16	25	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>15</b>
	No contesta	5	0	0	0	0	0
	Respuesta inconsistente(*)	5	5	0	5	0	0

De la comparación entre las respuestas dadas a los **incisos 9 y 9 bis**, se infiere que los alumnos de ambos grupos interpretan, prácticamente en un mismo grado, una misma situación expresada en dos registros gráficos diferentes, excepto en el ítem c (amplia diferencia entre los porcentajes de respuestas congruentes) y se revela una mayor comprensión en los alumnos del GE que en los del GC ya que para la totalidad de los ítems el porcentaje de respuestas congruentes correctas es superior para los primeros alumnos. Además los elevados porcentajes de respuestas congruentes erróneas se estudiaron efectuando un análisis basado en un trabajo anterior (Alí et al., 2012). Este análisis permitió inferir algunas concepciones alternativas que se utilizaron en la triangulación de errores y que se validaron como teorías de dominio.

Se muestra un resumen de los resultados en la siguiente tabla.

Ítem	Respuestas congruentes en %		Respuestas congruentes correctas en %		Respuestas congruentes erróneas en %		Respuestas incongruentes en %	
	GE	GC	GE	GC	GE	GC	GE	GC
a	68	75	63	30	5	45	32	25
b	68	70	37	30	32	40	32	30
c	89	70	68	50	21	20	11	30
d	79	75	68	50	11	25	21	25
Todos	47	30	32	10	16	20	53	70
c y d	79	55	58	40	21	15	21	45

En este análisis simultáneo de todos los ítems de los dos instrumentos, no se encontró ningún caso de respuesta: “no contesta”.

Se observa un elevado porcentaje de congruencias para todos los ítems para ambos grupos y muy semejante entre ellos. De esto se pueden inferir dos cosas:

- ambos grupos logran interpretar la situación planteada mediante una representación icónica
- ambas representaciones son interpretadas de la misma manera. Esto es un indicador de un pensamiento no tan concreto sino algo más abstracto. Este hecho puede tener una importante implicancia en cuanto a la enseñanza en tanto que no haría falta dibujar todas las partículas que se quieren mostrar.

Por otro lado, la congruencia correcta para cada uno de los ítems es notablemente superior en el GE.

De la comparación de las respuestas congruentes correctas en todos los ítems (**32%** para el GE y **10%** para el GC) se observa que estos porcentajes son relativamente bajos, pero que existe una diferencia importante en la comprensión entre los alumnos del GE y los del GC.

Los elevados porcentajes de respuestas congruentes erróneas permitieron inferir algunas concepciones alternativas como que “el ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes”, “el ácido fuerte sería aquel cuya solución es la más concentrada o la de mayor acidez”, entre otras.

## Triangulación

### Validación de la comprensión

Se validó la comprensión de los conceptos de acidez y de fuerza ácida por triangulación, con diferentes instrumentos que presentan situaciones diferentes en las cuales se ponen en juego los mismos conceptos.

Validar la comprensión consiste en verificar que las representaciones externas usadas o elegidas por los alumnos y sus relaciones, referidas a los conceptos en cuestión, que serían expresiones de un modelo mental, sean semejantes al modelo científico.

#### Acidez.

Se parte del enunciado correcto del concepto de acidez dado en el instrumento 7 -opción a- y se triangula con los instrumentos 9 y 9bis -partes c y d- en los cuales se pide una aplicación directa de este concepto ya que el alumno debe reconocer el ion hidronio y cuantificarlo. Para los alumnos del GE, se triangula también con el instrumento 3 en el cual deben realizar una representación icónica de la situación planteada. Debido a que un muy bajo porcentaje de los alumnos del GC realizaron representaciones que pueden evidenciar la cantidad de iones hidronio, estos valores no se presentan ya que carecen de valor metodológico y en la siguiente tabla aparecen señalizados con X.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla

Acidez	GE	GC
7a	84%	55%
3	47%	0%(valor viciado porque solo se observa en M3)
9 y 9 bis c	68%	50%
9 y 9 bis d	68%	50%
<b>Triangulación</b>		
7a + 9 y 9 bis parte c	58%	30%
7a + 9 y 9 bis parte d	63%	35%
7a + 9 y 9 bis partes c y d	53%	25%
7a + 3	37%	X
7a + 3 + 9 y 9 bis partes c y d	26%	X

Se observa que solo el **25%** del GC aplica bien el concepto de acidez, a pesar de que el **55%** de este mismo grupo conoce este concepto en forma proposicional. Paralelamente, el **26 %** del GE resiste la triangulación con un instrumento más, hecho que permite inferir que estos alumnos presentan un conocimiento sólido o robusto.

#### Fuerza Ácida.

Se parte del enunciado correcto de la diferencia entra un ácido fuerte y uno débil dado en el instrumento 6 opción b. Se triangula con el instrumento 9 y 9 bis a, en el que se aplica el concepto de ácido fuerte y débil, reconociendo y cuantificando las especies presentes luego de la ionización. Por último se triangula con el instrumento 3, tanto para el GE como para el control,

debido a que para representar este concepto es posible realizarlo tanto con el modelo M2 como M3.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla

Fuerza Ácida, diferencia entre ácido fuerte y débil	GE	GC
6b	89%	85%
3	68%	20%
9 y 9 bis a	63%	30%
<b>Triangulación</b>		
6b + 3	58%	20%
6b + 9 y 9 bis	63%	30%
6b + 3 + 9 y 9 bis a	53%	15%

Se observa que del **85%** de los alumnos del GC que conocen diferencia entre un ácido fuerte y uno débil en forma proposicional, solo el **30%** del GC logra aplicar correctamente este concepto y solo el **20%** es capaz de formar una representación icónica de la situación análoga a la situación misma. Además, solo el **15%** del GC logra triangular todos los instrumentos mencionados. Contrariamente, la mayoría del GE presenta un modelo conceptual semejante al modelo científico.

**Comparando las triangulaciones de los dos conceptos analizados, el concepto de fuerza ácida se comprende mejor en ambos grupos que el concepto de acidez. Esto resulta consistente con lo esperado, en tanto que comprender la diferencia entre ácido fuerte y débil no implica necesariamente establecer una relación cuantitativa entre las concentraciones de las especies presentes y en tanto que además, su comprensión se fija a la ecuación química.** Los alumnos se remitirían a la forma simbólica de las ionizaciones guardándolas en su memoria como imágenes a las cuales recurren frente a situaciones donde se presentan ácidos fuertes y débiles. Esto último se pudo inferir a partir del hecho de que una importante cantidad los alumnos escribe las ecuaciones de ionización aunque no sean expresamente solicitadas en las consignas de los diferentes incisos.

A modo de ejemplo se cuantificaron estos alumnos en el inciso 3 y resultaron ser el 42% del GE y el 30% del GC.

## Validación de los errores conceptuales

Se validaron los errores conceptuales referentes a la fuerza ácida y acidez por triangulación. Se establecieron como teorías de dominio algunos errores arraigados, como lo son: ***“El ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes”, “El ácido fuerte es el de mayor acidez”, “La acidez es función únicamente de la fuerza ácida y es independiente de la concentración inicial de la solución ácida”***. Mientras que en el GC se encontraron pruebas suficientes para afirmar que estos alumnos sostienen todas las ideas erróneas mencionadas, en el GE solamente se hace evidente la última de ellas.

1. Se parte de la opción c del inciso 6, que define al ácido fuerte como aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes, y se compara con el inciso 4 frasco A afirmación d, que se trata de una proposición incorrecta, en la cual se explicita que el ácido fuerte presenta uniones fuertes entre sus átomos. Los alumnos que contestan “correcta” incurrir en el error que se está analizando. Estas respuestas se comparan también con las respuestas (2 y 3) del ítem a del inciso 9 en el que se solicita indicar la o las soluciones de ácidos fuertes. Una aplicación clara del hecho de que una molécula presente uniones intramoleculares fuertes es elegir las representaciones 2 y 3 ya que en ellas se muestran algunas moléculas sin ionizar. La siguiente tabla recoge los valores de las comparaciones efectuadas.

<i>“El ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes”</i>	GE % de alumnos	GC % de alumnos
6c	11	10
4 frasco A d responden la palabra “correcta”	21	25
9 a 2 y 3 (se aplica claramente)	5	20
Triangulación		
6c +4 frasco A d “correcta”	0	5
6c + 9 a 2y3	0	10
6c +4 frasco A d correcta +9 a 2y3	0	5

Luego de la triangulación se puede inferir que en el GC se presenta esta idea como un error arraigado o teoría de dominio, que se pone en evidencia en las respuestas incorrectas de los ítems de los tres incisos triangulados para estos alumnos, mientras que no se constituye como tal en los alumnos del GE.

2. Se parte de la opción d del inciso 6, que define al ácido fuerte como aquel cuyas soluciones son concentradas, en oposición al ácido débil cuyas soluciones son diluidas. Se compara con las respuestas (3 y 4) del ítem a del inciso 9 en correspondencia con el 9 bis, en el que se solicita indicar la o las soluciones de ácidos fuertes. La respuesta 3 y 4 corresponde a las soluciones más concentradas.

<i>“El ácido fuerte es el más concentrado”</i>	GE % de alumnos	GC % de alumnos
6d	5	15
9 y 9 bis a contestan 3 y 4	0	20
Triangulación		
6d + 9 y 9 bis a contestan 3 y 4	0	5

Luego de la triangulación se puede ver que en el GC se presenta esta idea errónea en más de un instrumento. Debido a que el porcentaje que surge luego de la triangulación es poco importante, no se puede inferir a partir de este estudio, que este error constituya una teoría de dominio.

3. Se parte de la opción f del inciso 6, que define al ácido fuerte como el de mayor acidez. Se compara con la opción c del inciso 7 que expresa una relación incompleta entre la acidez y la fuerza ácida. Se compara también con las respuestas (3y 4) del ítem a del inciso 9, en el que se solicita indicar la o las soluciones de ácidos fuertes. Las representaciones 3 y 4, además de ser las

correspondientes a las soluciones más concentradas, también son las de mayor acidez. Se triangula también con las representaciones realizadas por los alumnos en el inciso 3, en las que el ácido fuerte era representado con mayor cantidad de iones hidronio que el ácido débil. Debido a que un muy bajo porcentaje de los alumnos del GC realizaron representaciones que pueden evidenciar la cantidad de iones hidronio, estos valores no se presentan ya que carecen de valor metodológico y en la siguiente tabla aparece señalado con X.

<i>"El ácido fuerte es el de mayor acidez"</i>	GE	GC
6f	21%	50%
7c	26%	25%
9 y 9 bis a contestan 3 y 4	0	20
3	37%	X
Triangulación		
7c + 9 y 9 bis a contestan 3 y 4	0	5
6f + 9 y 9 bis a contestan 3 y 4	0	15
6f + 7c	11	15
6f + 3	5	X
7c + 3	11	X
6f + 7c + 3	0	X

Luego de la triangulación se puede inferir que en el GC se presenta esta idea como un error arraigado o teoría de dominio, que se pone en evidencia en las respuestas incorrectas de los ítems de los tres incisos triangulados para estos alumnos.

#### Acidez

1. Se parte de la opción b del inciso 7, en la que se expresa que la acidez depende exclusivamente de la concentración inicial de la solución acuosa de un ácido. Se compara con las respuestas congruentes del ítem a) de los incisos 1 y 2, que indican que la concentración de ion hidronio es igual para dos soluciones de idéntica concentración inicial pero de dos ácidos, uno fuerte y otro débil. Se tienen en cuenta las respuestas congruentes entre los instrumentos 9 y 9 bis; si la respuesta al ítem b es 4, la solución de mayor concentración sería la de mayor acidez y si la respuesta al ítem d es 3, la solución de mayor acidez sería la más concentrada en la especie ácida HA. Se compara también con las representaciones realizadas por los alumnos en el inciso 3, en las que se presentan igual cantidad de iones hidronio, tanto para el ácido fuerte como para el débil de idéntica concentración. Como ya se ha mencionado recientemente, debido a que un muy bajo porcentaje de los alumnos del GC realizaron representaciones que pueden evidenciar la cantidad de iones hidronio, estos valores no se presentan ya que carecen de valor metodológico, y en la siguiente tabla aparece señalado con X.

<i>“La acidez es función de la concentración inicial y no depende de la fuerza del ácido”</i>	GE	GC
7 b	11%	15%
1,2 a) =	0%	25%
9 y 9 bis b contestan 4	32%	30%
9 y 9 bis d contestan 3	11%	15%
3	26%	X
<b>Triangulación</b>		
7b + 1,2 a) =	0	5%
7b + 3	0	X
7b + 9 y 9 bis b contestan 4	11%	10%
7b + 9 y 9 bis d contestan 3	0%	5%
7b + 9 y 9 bis b contestan 4 + 9 y 9 bis d contestan 3	0%	5%

Luego de la triangulación, se puede ver que en ambos grupos se presenta esta idea errónea en un porcentaje no despreciable **-11% y 10%-** para los GE y GC, respectivamente. No se puede afirmar que esta idea errónea se ponga en juego en las respuestas incorrectas de los incisos 1 y 2 ítem a y 9 y 9 bis ítem d.

- Se parte de la opción c del inciso 7, en la que se expresa que la acidez depende de la fuerza ácida. Se compara con las respuestas congruentes del ítem a) de los incisos 1 y 2, que indican que la concentración de ion hidronio es mayor para la solución del ácido fuerte que del débil de idéntica concentración inicial. Se compara también con las representaciones realizadas por los alumnos en el inciso 3, en las que se presentan mayor cantidad de iones hidronio para el ácido fuerte que para el débil de igual concentración inicial. Como ya se ha reiterado, debido a que un muy bajo porcentaje de los alumnos del GC realizaron representaciones que pueden evidenciar la cantidad de iones hidronio, estos valores no se presentan ya que carecen de valor metodológico, y en la siguiente tabla aparece señalado con X.

<i>“La acidez es función únicamente de la fuerza ácida”</i>	GE	GC
7c	26%	25%
1,2 a) >	74%	60%
3	53%	X
<b>Triangulación</b>		
7c + 1,2 a) >	26%	20%
7c + 3	16%	X
7c + 1,2 a) > +3	16%	x

Luego de la triangulación, se puede ver que en ambos grupos se presenta esta idea errónea en un porcentaje considerable **-26% y 20%-** para los GE y GC, respectivamente. Para el GE, también se observa que se manifiesta este mismo error en un porcentaje menor, aunque también considerable, en las representaciones que realizan los alumnos de este grupo en el inciso 3. Se puede inferir, entonces, que para el GE este error es un error arraigado o teoría de dominio.

# Conclusiones y Discusiones

---

En este apartado se exponen:

- 1) La comprobación de la hipótesis sostenida y sus alcances
- 2) La síntesis del análisis de los resultados y las respuestas a las preguntas de investigación
- 3) Limitaciones y discusión
- 4) El aporte de esta tesis
- 5) Las propuestas para nuevas investigaciones que se abren como resultado del trabajo

## La comprobación de la hipótesis sostenida y los alcances de esta verificación

La hipótesis sostenida en este trabajo es:

*“Los alumnos mejorarían la comprensión si durante la enseñanza se explicitaran y vincularan los aspectos macroscópico y sub-microscópico de la materia (denominando sub-microscópico al nivel molecular o nanoscópico), si estos niveles se mostraran mediante representaciones semióticas de variados tipos, y si se explicitaran las concepciones alternativas, tanto las diagnosticadas en los alumnos, como otras conocidas por investigaciones previas, para someterlas a debate y contribuir mediante una actividad reflexiva y metacognitiva a evitar que las ideas previas erróneas obstaculicen la construcción de un nuevo conocimiento”*

Para la evaluación de la propuesta se utilizó una **metodología comparativa entre dos grupos**, el grupo experimental (GE), y el grupo de control (GC), y se llevó a cabo en **dos etapas**.

Se ha puesto a prueba una nueva metodología de enseñanza en el curso de Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires.

Esta metodología de enseñanza alternativa implementada para el GE resultó distinta de la tradicional en tanto que se utilizaron representaciones externas expresadas en diferentes registros semióticos, se explicitaron y vincularon las representaciones de los niveles sub-microscópico y macroscópico de la materia y sus cambios, y paralelamente se explicitaron y trabajaron las concepciones alternativas que sostienen los alumnos.

*“Un maestro que actúe metacognitivamente enseñaría a sus estudiantes a diferenciar distintos tipos de representaciones que ellos emplean, a identificar los alcances y los límites de cada uno de estos [...] Este maestro les mostraría, en forma detallada, a sus estudiantes, los cambios al interior de un mismo registro y aquellos cambios que requieren nuevos registros de representación...”*  
**Tamayo Alzate (2006: 47)**

Mediante los resultados logrados en ambas etapas de esta investigación, en las que se puso a prueba la hipótesis mencionada, se pudo comprobar que la modalidad de enseñanza innovadora fue apropiada para lograr una mayor comprensión por parte de los alumnos.

Se pudo comprobar que la metodología diseñada y empleada en este estudio, y para este caso, fue apta para el dictado de los contenidos pre-requisitos del tema ácido-base, como lo son simbología química,

soluciones y equilibrio químico (evaluados en la primera etapa), y de los conceptos de acidez y fuerza ácida (evaluados en la segunda etapa).

## La síntesis del análisis de los resultados y las respuestas a las preguntas de investigación

Como resultado de la implementación de esta experiencia innovadora con respecto a la enseñanza tradicional de Química del C.B.C se encontró que la innovación propuesta impactó positivamente en cuanto a:

### ➤ La comprensión

La comprensión lograda por los alumnos del GE fue mejor en comparación a los del GC. En la totalidad de los conceptos evaluados con los diferentes instrumentos, los alumnos del GE respondieron correctamente en mayor medida que los del GC.

La determinación de la comprensión que se llevó a cabo utilizando el marco teórico provisto por Duval (1999), permitió establecer las categorías de respuestas congruentes correctas, congruentes erróneas e incongruentes. Se observó que los alumnos del GE respondieron de manera congruente correcta entre representaciones formuladas en diferentes registros semióticos en mayor medida que los alumnos del GC.

*“De hecho la comprensión conceptual surge de la coordinación de los diversos sistemas semióticos usados, y darse cuenta de la forma específica de representar para cada sistema semiótico es condición cognitiva para la comprensión” (Duval, 2006, 167).*

En este trabajo se advierte que la conversión entre representaciones es condición necesaria pero no suficiente para la comprensión. Se observa que algunos alumnos que realizan dicha conversión, lo hacen dando una respuesta incorrecta, por lo que se infiere que no hubo comprensión en estos casos.

*Según García García (2005: 38) “El aprendizaje mono-registro lleva a una comprensión limitada de lo aprendido, que puede ser valorada como aprendizaje efectivo al ser evaluada a corto plazo. El problema se presenta cuando los conocimientos supuestamente aprendidos de manera efectiva son requeridos para ser usados en otro contexto diferente a aquel que se utilizó para llevar a cabo el aprendizaje, y que incluye registros semióticos diferentes. Cuando esto sucede el estudiante no puede movilizar estos conocimientos. Es decir, no puede realizar transferencia alguna de los conocimientos aprendidos. En contraposición a lo que ocurre con el aprendizaje mono-registro, un aprendizaje centrado en la conversión de las representaciones... produce una comprensión efectiva e integradora, que posibilita la transferencia de los conocimientos aprendidos.”*

Al respecto de lo expresado por García García, se encontró que el GC formado por alumnos que fueron enseñados de la manera tradicional mostró una marcada preferencia por un único registro, el simbólico, mientras que los del GE mostraron una preferencia multi-registro (icónico, simbólico y verbal).

Paralelamente, se pudo inferir un modelo mental más completo y semejante al modelo conceptual enseñado en un número mayor de alumnos para el GE que para el GC. En esta tesis se ha denominado como “**modelos conceptuales**” a todas las representaciones externas tanto formuladas por alumnos como por docentes, en la medida en que muestren relaciones o vinculaciones entre conceptos; y se reservó la terminología de “modelo científico” para aquellas representaciones externas construidas por los científicos, lo que en términos de Galagovsky y otros (2009) sería el modelo explícito. Mientras que los modelos conceptuales son representaciones externas, los modelos mentales son representaciones internas.

*“Desafortunadamente, si bien es cierto que la distinción entre modelos conceptuales y modelos mentales es clara, su **relación** no lo es, así como **no es clara** tampoco la idea de construir modelos mentales “consistentes” con los modelos conceptuales” (Moreira et al., 2002: 14).*

Se desconoce la relación que pudiera existir entre ambos tipos de representación, sin embargo se reconoce que las representaciones externas pueden ser buenos indicadores de las relaciones conceptuales que operan en la mente de las personas. Por lo tanto, se infiere comprensión y se reconocen errores a partir de los modelos conceptuales que presentan los alumnos a través de sus representaciones externas formuladas para una situación dada.

Se validó la comprensión de los conceptos de **acidez** y de **fuerza ácida** por triangulación con diferentes instrumentos que presentan situaciones diferentes en las cuales se ponen en juego los mismos conceptos.

En los diferentes instrumentos utilizados, se encontraron pruebas suficientes para inferir que los alumnos del GE comprenden mejor que los alumnos del GC los conceptos de acidez y de fuerza ácida. Paralelamente, el concepto de fuerza ácida se comprende mejor en ambos grupos que el concepto de acidez.

Los alumnos también tuvieron la misma percepción en cuanto a su comprensión. Esto se puso en evidencia en las respuestas dadas a una encuesta, que se llevó a cabo el último día de clases en la comisión de alumnos del GE.

*“Creo que la implementación de los gráficos y material extra ayudó mucho a la comprensión de algunos temas, que son, muy difíciles de entender.”*

*“Buena metodología; a mí personalmente me agradó llevar el curso sobre todo por los power que son de gran ayuda Visual y te enseña a ver las cosas como Realmente se Representan...”*

*“... pude entender temas que en otras cursadas no logré comprender (ej. Teoría atómica molecular); y también fue muy productivo el uso del proyector para que la clase sea dinámica, y para que el alumno pueda consultar luego mediante internet las diapositivas.”*

*“... me encanta poder tener clases con el cañón porque creo que a mí me aclaró*

*muchas cosas que me quedaban confusas, además hace la clase más didáctica y divertida. Creo que está muy bueno poder ver al principio de la clase ejercicios que no nos salieron para compartir entre todos las diferentes inquietudes.”*

*“En mi experiencia, ya que recurso por tercera vez y mi primera en esta comisión, me resultó mucho más didáctica esta clase que las otras en las que me tocó cursar...”*

*“... Fueron clases dinámicas, me pareció didáctico y entretenido el uso del proyector y los análogos y comparaciones utilizadas para las explicaciones me sirvieron mucho para fijar conocimientos.”*

*“... como también de la ayuda de las diapositivas se complementó con la aplicación práctica vista en algunos videos y alguna experiencia en clase como el cambio de pH al diluir una concentración de ácido que terminó por ayudar a comprender lo visto en clase.”*

*“Este curso es muy bueno, tanto para explicar lo teórico como lo práctico; paso por paso.... Los ejercicios explicarlos uno por uno para saber el error que se cometió....”*

*“... me pareció muy didáctico el uso de proyector....”*

*“... Es la primera vez que entiendo bien soluciones reguladoras y asimilo los conceptos de ácido-base. El proyector y los PPS ayudaron mucho.”*

*“... aprendí mucho... revisando siempre los temas anteriores.”*

*“El uso del cañón ayudó mucho a visualizar lo explicado. Y muy didáctico.”*

*“...logré entender los temas... También la ayuda complementaria del proyector ayuda a fijar más los conceptos.”*

*“... Con el uso del proyector me ayudó a darme cuenta y entender conceptos que para mí eran muy complicados...”*

➤ **Los errores**

Entre los alumnos de ambos grupos se detectaron errores a partir de la identificación de las respuestas congruentes erróneas en los instrumentos que representan una misma situación expresada en diferentes registros. Paralelamente, estos errores se manifestaron también en las respuestas dadas para diferentes situaciones presentadas en otros instrumentos.

*“Las verdaderas concepciones alternativas son producto de una teoría de dominio, constituida por un conjunto de representaciones de diverso tipo, activadas por los sujetos ante contextos pertenecientes a un dominio dado” (Pozo Muncio y Gómez Crespo, 1998:106).*

Estas teorías de dominio son relaciones erróneas entre conceptos que se ponen de manifiesto en las respuestas de los alumnos activadas en distintos contextos.

Se pudo constatar que estos errores arraigados son sostenidos en mayor medida por los alumnos del GC que por los del GE.

Entre los errores conceptuales referidos a la **fuerza ácida** y **acidez**, validados por triangulación como teorías de dominio (Callone y Torres, 2013), se encontraron:

- “El ácido fuerte es aquel que presenta uniones intramoleculares fuertes”
- “El ácido fuerte es el de mayor acidez”
- “La acidez es función únicamente de la fuerza ácida y es independiente de la concentración inicial de la solución ácida”

Mientras que en el GC se encontraron pruebas suficientes para afirmar que estos alumnos sostienen todas las ideas erróneas mencionadas, en el GE solamente se hace evidente la última de ellas.

## Limitaciones y discusión

### *Cuestiones relativas al tamaño de los grupos*

En el cuasi experimento llevado a cabo en esta tesis, se compararon las respuestas dadas por 2 grupos de alumnos, GE y GC, grupos equivalentes, y que por las características propias de este proceso de investigación, terminaron resultando grupos relativamente pequeños.

Pero, ¿cuáles son las características propias de este proceso de investigación?

Hay dos factores a tener en cuenta: 1) la deserción propia que acontece durante la cursada y 2) la metodología para la obtención de los datos.

Con respecto a la deserción que tiene lugar durante la cursada, se puede decir que las clases se inician con una matrícula cercana a la centena de alumnos en cada una de las comisiones seleccionadas en esta investigación. Es una realidad en todas las comisiones de Química del CBC, que conforme va avanzando el cuatrimestre, el número de alumnos que asiste regularmente a las clases va disminuyendo gradualmente hasta el primer parcial, y vuelve a disminuir notablemente después de recibir la nota de este examen, con lo cual desde el comienzo de clases hasta fin de la cursada hay una disminución muy importante en la cantidad de alumnos de cada comisión.

Considerando la metodología de obtención de los datos de esta investigación, cabe recordar que la participación de los alumnos fue optativa, tanto en la resolución de la encuesta, como de los test. Esto terminó conspirando contra el número de datos recogidos; justamente, no todos los estudiantes

participaron de la resolución de la encuesta, y de estos, no todos participaron posteriormente de la resolución de los distintos test llevados a cabo. Se muestra a continuación

Los registros para cada una de las comisiones se muestran a continuación:

Número de comisión	Matrícula del curso	Número de alumnos que se presentaron al 1° parcial	Número de alumnos que se presentaron al 2° parcial	Número de alumnos que contestaron la encuesta	Número de alumnos que realizaron la encuesta y todos los test
510	94	61	38	27	19
511	112	71	50	33	18
513	76	45	37	19	10

De la comisión 510 surgió el GE, y de los alumnos de las comisiones 511 y 513 surgió el GC.

### *Comparación entre el GC y una muestra representativa de alumnos del CBC*

Previamente a esta investigación, se llevó a cabo un estudio exploratorio con la finalidad de poner a prueba a los instrumentos de los incisos 1 y 2 del post-test que se utilizarían en esta tesis. En tal ocasión, esos instrumentos se administraron a un total de 139 alumnos de la materia Química del CBC; los alumnos encuestados provinieron 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.”* (Callone y Torres, 2013).

Adicionalmente, esta muestra reviste gran importancia para la comparación con el GC en tanto que resulta ser un standard representativo de la enseñanza tradicional de química del CBC. Como se ha mencionado en esta tesis, a pesar de las diferentes sedes geográficas y de los más de 150 docentes auxiliares que dictan las clases, el dictado de esta asignatura se puede decir que es homogéneo. El cronograma único, la elevada cantidad de contenidos curriculares para el escaso tiempo que reviste la cursada, la deficiencia de la infraestructura en muchas de las sedes, entre otros factores, fueron moldeando o conformando una modalidad de enseñanza; la tradicional. Tiza y pizarrón, fórmulas y ecuaciones químicas son los “ingredientes” de una “receta” que se sigue “elaborando” hasta la actualidad.

Se pudo comprobar que los alumnos del GC respondieron a estos incisos de manera **muy semejante** a como lo hiciera anteriormente la mencionada muestra representativa de alumnos de Química del CBC.

Esta similitud le da mayor validez a este estudio, y se presenta a continuación la comparación de los resultados del grupo GC con este standard, válido estrictamente para estos dos instrumentos presentados, los incisos 1 y 2 del post-test.

Como ya se explicó a lo largo de esta tesis, se utilizó una categorización de las respuestas de los alumnos en el análisis de los incisos 1 y 2 del post-test en forma conjunta. La denominación “respuestas congruentes correctas” se otorgó a aquellas respuestas que fueron coincidentes en ambos test y además fueron correctas. Se consideraron como respuestas congruentes erróneas aquellas respuestas que

fueron coincidentes en ambos test, pero que eran incorrectas. La categoría de respuestas incongruentes se otorgó a aquellas respuestas no coincidentes en ambos test.

La siguiente tabla, presentada en el artículo “¿Por qué las representaciones semióticas pueden ser obstáculos para la comprensión? Un estudio en el tema ácido-base” por Callone y Torres (2013) da cuenta en forma simplificada del criterio utilizado en esta categorización, además de su implicancia para la comprensión.

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. Obstáculo que habría que salvar
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 a salvar.

A continuación se detallan los resultados comparativos de una muestra representativa de los alumnos del CBC, denominada M, y el GC, para los incisos 1 y 2 del post-test.

Categorías de respuestas	Muestra representativa de alumnos del CBC (M) Porcentaje sobre 695 respuestas	GC Porcentaje sobre 110 respuestas	$\Delta$ GC-M
Congruentes correctas	47%	49 %	2 %
Congruentes erróneas	26%	28 %	2 %
Incongruentes	23%	21%	-2%

La comparación del GC con la muestra M, en lo que se refiere a la congruencia o incongruencia en las respuestas, refleja una notable similitud de este grupo con respecto a este standard.

Dada la similitud de los porcentajes obtenidos para este caso entre GC y M, se podría suponer que GC, a pesar de contar solo con 20 alumnos, se comporta de manera similar a la media de los alumnos del CBC frente a la enseñanza recibida.

Por último, si GC, con sus 20 alumnos, representaran a la media del CBC, sería esperable que los 19 alumnos del GE, y a pesar de lo escaso en número, pudieran considerarse como una muestra representativa del tipo de enseñanza propuesta.

No obstante todo lo dicho, es indudable que la metodología de enseñanza propuesta fue, en este caso en particular, apta para el dictado de los contenidos, a pesar del tamaño de las muestras.

## El aporte de esta tesis

A partir de esta investigación, se comprobó que con la innovación propuesta para la enseñanza de química del CBC se obtuvieron mejores resultados en cuanto a la comprensión de los alumnos que con la enseñanza tradicional.

Paralelamente, se han desarrollado metodologías para medir la comprensión. Por un lado, con la implementación de la categoría de respuestas congruentes correctas, para el análisis de las respuestas de los alumnos. Por otra parte, el análisis de las representaciones realizadas por los alumnos se ha efectuado a partir de una categorización en modelos conceptuales que permitió hacer inferencias acerca de los modelos mentales de los alumnos.

Por último, se ha profundizado en otras metodologías con la que se pueden establecer cuáles de los errores se constituyen en teorías de dominio. Una de ellas consistió en el análisis de los errores con la implementación de las categorías de respuestas congruentes erróneas. Por otra parte, el análisis de las representaciones realizadas por los alumnos se ha efectuado a partir de una categorización en modelos conceptuales que permitió hacer inferencias acerca de los errores de los alumnos.

Este trabajo se puede decir entonces, que ha contribuido con algunas metodologías originales y que otorgan referentes ampliatorios de los marcos teóricos utilizados, tanto para medir la comprensión, como para indagar en los modelos mentales y en las teorías de dominio de los alumnos.

## Las propuestas para nuevas investigaciones que se abren como resultado del trabajo

Las hipótesis que se refieren a que parte de los errores conceptuales que cometen los estudiantes podrían estar originadas por ciertas características de las representaciones semióticas usadas en clase, abrirían **nuevas investigaciones** para las cuales habría que estudiar algún grupo de respuestas incongruentes de los alumnos, en particular aquellas en las que para un tipo de registro se respondiera correctamente y en los otros registros se respondiera de manera errónea, es decir cuáles serían las características de estas últimas representaciones (aquellas en las que se contesta en forma errónea) y preguntarse por qué responden mal en esos casos.

Por otro lado, se ha encontrado que parte de las ideas erróneas se generan durante los procesos de enseñanza y/o de aprendizaje. ¿A qué podría deberse este hecho?

Según Perales Palacios (2006: 25) *“El uso de las ilustraciones en el aula debe estar marcado por actividades específicas, tales como la clarificación de los propios signos gráficos, la adecuada correlación con el texto escrito, la simultaneidad de las observaciones de los planos real y simbólico, la corrección de los errores, la producción de imágenes por parte de los alumnos y su integración efectiva en la evaluación del aprendizaje”.*

Este trabajo aportó evidencia experimental a lo mencionado por Perales Palacios y además permitió inferir cuán importantes resultan las representaciones gráficas o icónicas, tanto para **evaluar la comprensión** como para inducir el **desarrollo de un modelo mental** más cercano al modelo conceptual que se quiere transmitir.

El uso de las representaciones gráficas o icónicas como instrumentos de evaluación es útil para el **profesor** y para el **investigador**. Mientras que su utilización con la función de favorecer el desarrollo cognitivo de los alumnos resulta de gran importancia tanto para el profesor, como para los responsables de la **propuesta editorial**.

Se ha encontrado un método para procesar y analizar las muy diversas representaciones externas de los alumnos del nivel molecular de las soluciones ácidas. Este método podría ser útil también para analizar representaciones externas del nivel sub-microscópico de otros sistemas materiales, como pueden ser las soluciones de solutos moleculares o iónicos.

A partir de las representaciones externas de los alumnos, se ha establecido una categorización de modelos conceptuales. El análisis de las representaciones efectuado a partir de esta categorización permitió evaluar, tanto la comprensión como los errores arraigados de los alumnos. Esta categorización en modelos conceptuales podría servir para analizar representaciones externas del nivel sub-microscópico de otros sistemas materiales, como pueden ser las soluciones de solutos moleculares o iónicos.

Puede suponerse que la aplicación de este tipo de enseñanza innovadora también mejoraría la comprensión en otros temas de química, como de otras disciplinas correspondientes a las ciencias experimentales.

# Bibliografía

---

Alí, S.; Bekerman, D.; Benitez, C.; Bonazzola, C.; Brudnick, G.; Bruno, J.; Candal, R.; Cols, H.; Crubellati, R.; Di Risio, C.; Gautier, E.; Ghini, A.; Guerrien, D.; Landau, L.; Pin, G.; Servant, R.; Torres, N.; Veleiro, A., *QUÍMICA Ejes temáticos y ejercitación*, UBA Ciclo Básico Común Cátedra única de química. Educando. 2011

Alí, Salvador; Callone, Cecilia, Landau, Leonor; Baumgartner, Erwin; Torres, Noemí: *Multistrategic analysis of misconceptions in acid-base equilibrium*. Journal of Science Education, 2012.

Astolfi, Jean Pierre: *El "error", un medio para enseñar*. Sevilla, España, Díada Editora, 1999.

Astolfi, Jean Pierre: *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Sevilla, España, Díada Editora, 2001.

Ausubel, D. P., Novak, J. D. Y Hanesian, H.: *Psicología educativa: Un punto de vista cognitivo*. México, Trillas, 1983.

Bachelard, G., 1948, *La formación del espíritu científico*, Siglo XX, 3ª. Ed., Argentina, 1974.

Bruner, J.: *El desarrollo de los procesos de representación*. En: *Acción, pensamiento y lenguaje*, Capítulo 5, 1984, Linaza J.L. Comp., Alianza, Madrid, 1996.

Bruner, J.: *La educación, puerta de la cultura*. Aprendizaje Visor, 1997

Callone, C., Landau, L., Torres, N., Baumgartner, E. *Detección de obstáculos epistemológicos en equilibrio ácido-base*. VII Jornadas de enseñanza universitaria de la Química, Comodoro Rivadavia, Chubut, 9 al 12 de Abril de 2006 a.

Callone, C., Landau, L., Torres, N., Baumgartner. *Interpretación de los alumnos de los lenguajes icónico, narrativo y simbólico en el tema ácido-base*, XXVI Congreso Argentino de Química, San Luis, 13 al 15 de Septiembre de 2006 b.

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*, 2008, 7 (2), pp. 43-52

Callone, C. y Torres, N. "¿Por qué las representaciones semióticas pueden ser obstáculos para la comprensión? Un estudio en el tema ácido- base". Educación Química publicado en línea 12 de abril de 2013 Universidad autónoma de México. Disponible en: <http://educacionquimica.info/busqueda.php> (fecha de la última consulta enero de 2015)

Carrascosa, J.; Furió, C. y Valdés, P.: *Las concepciones alternativas de los estudiantes y sus implicancias didácticas*. En D. Gil et al (autores) *Temas escogidos de la didáctica de la física*. La Habana. Editorial Pueblo y Educación. (18), 1996

Chi M. T., Slotta J. D. y De Leeuw N.: *From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts*. *Learn. Instr.*, 1994, 4, pp. 27-43

Costa, J. y Moles, A.: *Imagen didáctica CEAC* En: *Enciclopedia del diseño*. Barcelona, 1991.

De las Fuentes Lara, Maximiliano; Arcos Vega, José Luis y Navarro González, Carlos Raúl. *Estudio*

*comparativo sobre la eficiencia de las actividades cognitivas a partir de dos enfoques de enseñanza: tradicional y otro que involucra tecnología de la calculadora para abordar aplicaciones de las ecuaciones diferenciales.* Educación y Ciencia, Cuarta Época. 2011, 2 (4), pp.39. Disponible en: <http://educacionyciencia.org/index.php/educacionyciencia/article/view/287/279> (fecha de la última consulta enero de 2015)

Duval, R.: *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales.* Edita: Universidad del Valle y Meter Lang S.A. Cali. Colombia, 1999 (citado en García García, 2005)

Duval, Raymond. *Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación.* La Gaceta de la RSME, 2006, 9 (1), PP. 143–168. Disponible en: <http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1JM80JJ72-G9RGZN-2CG/La%20habilidad%20para%20cambiar%20el%20registro%20de%20representaci%C3%B3n.pdf> (fecha de la última consulta enero de 2015)

Furió, C., Domínguez, C., Azcona, R. y Guisasola, J. *La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento químico.* En: Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias. Colección ciencias de la educación. Dirección: Francisco Perales Palacios - Pedro Cañal de León. Marfil Alcoy. 2000, 18, pp. 421-448

Galagovsky, Lydia; Di Giacomo, María Angélica y Castelo, Verónica. *Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares.* Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. 2009, 8 (1), pp. 1-22

García, Delma Ospina. *Las representaciones semióticas en el aprendizaje del concepto de función lineal.* Tesis de maestría en Enseñanza de las Ciencias. Universidad Autónoma de Manizales, 2012. Disponible en: [http://repositorio.autonoma.edu.co/jspui/bitstream/11182/245/1/Tesis\\_Las%20representaciones%20semi%C3%B3ticas%20en%20el%20aprendizaje%20del%20concepto%20de%20funci%C3%B3n%20lineal.pdf](http://repositorio.autonoma.edu.co/jspui/bitstream/11182/245/1/Tesis_Las%20representaciones%20semi%C3%B3ticas%20en%20el%20aprendizaje%20del%20concepto%20de%20funci%C3%B3n%20lineal.pdf) (fecha de la última consulta enero de 2015)

García García, José Joaquín: *Memoria de Tesis Doctoral “La comprensión de las representaciones gráficas cartesianas presentes en los libros de texto de ciencias experimentales, sus características y el uso que se hace de ellas en el aula.* Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Facultad de Ciencias de la Educación. Granada, 2005. Disponible en: <http://hera.ugr.es/tesisugr/15518620.pdf> (fecha de la última consulta enero de 2015)

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, 2006, 5 (2), pp. 247-259.

Gomez Moliné, M. y Sanmartí Puig, N.: *El aporte de los obstáculos epistemológicos,* Investigación educativa, 2002, 13 (1), pp. 61-68

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado Y Baptista Lucio, P.: *Metodología de la investigación.* México, McGraw-Hill, 2003

Jiménez Aleixandre, M. P. (coord.); Caamaño, A.; Oñorbe, A.; Pedrinaci, E.; de Pro, A.: III. *Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias.* En: *Enseñar ciencias.* Barcelona Editorial Graó, 2003

Jiménez Liso, M.; De Manuel Torres, E.: *La neutralización ácido-base a debate*. Enseñanza de las ciencias, 2002, 20 (3), pp. 451-464

Jiménez Liso, M.; De Manuel Torres, E.: *Dificultades semánticas del término fuerza en el ámbito de la química: polisemia entre los significados químico y cotidiano*. 2009. Disponible en:

<http://webpages.ull.es/users/apice/pdf/244-011.pdf> (fecha de la última consulta enero de 2015)

Johnson-Laird, P., *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

Johnstone, A.H. *Macro and micro chemistry*. School Science Review, 1982, 64 (227), pp. 377-379.

Klimovsky, G. *Las desventuras del conocimiento científico*. A-Z editora, 2ª ed., Buenos Aires, 1995.

Labarca, Martín. *¿Es necesario repensar el triángulo de Johnstone?* Ponencia. REQ XV Educación en la química- Número extra 2012. Disponible en:

<http://www.educacionenquimica.com.ar/index.php/req/req-xv/274-ies-necesario-repensar-el-triangulo-de-johnstone> (fecha de la última consulta enero de 2015)

Lemke, J.: IV- *La ciencia en el diálogo En: Aprender a hablar ciencia*. Barcelona. Paidós., 1997

Lombardi, Giovanna; Caballero, Concesa y Moreira, Marco Antonio. *Estudio Preliminar de las Representaciones No-Textuales utilizadas en Textos Escolares de Química General*. Enseñanza de las Ciencias, 2005. Número Extra. VII Congreso. Disponible en:

[http://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc\\_a2005nEXTRA/edlc\\_a2005nEXTRAp412estpre.pdf](http://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp412estpre.pdf) (fecha de la última consulta enero de 2015)

Lombardi, Giovanna; Caballero, Concesa y Moreira, Marco Antonio. *El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico*. Revista de Investigación, 2009, 66. Disponible en:

<http://www.scielo.org/ve/pdf/ri/v33n66/art08.pdf> (fecha de la última consulta enero de 2015)

Martí, E. y Pozo, J.I. *Más allá de las representaciones mentales: la adquisición de los sistemas de externos de representación*. Infancia y Aprendizaje, 2000, 90, pp. 11-30.

Maturano, Carla; Aguilar, Susana y Núñez, Graciela: *Conversión de imágenes al lenguaje escrito: un desafío para el estudiante de ciencias naturales*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 2009, 6(1), pp. 63-78. <http://www.apac-eureka.org/revista> (fecha de la última consulta enero de 2015)

Mayer, R.E. y Anderson, R.B. *The instructive animation: Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning*. Journal of Educational Psychology, 1992, 84 (4), pp. 444-452

Moreira, Marco Antonio; Greca, Ileana María y Rodríguez Palmero, María Luz. *Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Porto Alegre. 2002, 2 (3), pp. 37-57.

Olson, David (1994): 11. *La representación de la mente: los orígenes de la subjetividad*. En: *El mundo sobre el papel*. Barcelona. Gedisa, 1998.

- Paivio, A. *Mental Representations*. New York: Oxford University Press. 1986
- Perales, F. J. *Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias*. Enseñanza de las ciencias, 2006, 24(1), pp. 13–30.
- Perales, F.J. *La Imagen en la Enseñanza de las Ciencias: Algunos Resultados de Investigación en la Universidad de Granada, España*. Formación Universitaria, 2008, 1 (4), pp. 13-22. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/formuniv/v1n4/art03.pdf> (fecha de la última consulta enero de 2015)
- Perales, F. J. y Jiménez, Juan de Dios: *Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de Libros de texto*. En: Enseñanza de las ciencias. 2002, 20 (3), pp. 369-386
- Peterfalvi, B.: 4. Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos. En: Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza. A. Camilloni comp., Gedisa, 2003.
- Pozo, J.: *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid. Visor, 1987
- Pozo Municio, J. I. y Gómez Crespo. M. A. *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ed. Morata, Madrid, 1998.
- Raviolo, A. *Las imágenes en el aprendizaje y en la enseñanza del equilibrio químico*. Educación Química, 2006, 17, pp. 300-307,
- Redish, E. *The Implications of Cognitive Studies for Teaching Physics*, American Journal of Physics, 62(6), 796-803, American Association of Physics Teachers, 1994.
- Rodrigo, M. J. *Del escenario sociocultural al constructivismo episódico: un viaje al conocimiento escolar de la mano de las teorías implícitas*. En: M. J. Rodrigo y J. Arnay (eds.) *Constructivismo: ecos de un debate*, Barcelona, Paidós, 1997.
- Sautu, R.: *Todo es teoría*, Buenos Aires, Paidós, 2003
- Taber, K., *Chemical misconceptions-prevention, diagnosis and cure*, Royal Society of Chemistry, Londres, Inglaterra, 2002
- Tamayo Alzate, O. E. *Representaciones semióticas y evolución conceptual en la enseñanza de las ciencias y las matemáticas*. Revista educación y pedagogía, 2006, 18 (45), pp. 39-49
- Talanquer, V. *El químico intuitivo*. Educación Química, 2005, 16 (4), pp. 540-547
- Talanquer, V. *Commonsense Chemistry: A Model for Understanding Students' Alternative Conceptions*. *J. Chem. Educ.* 2006, 83 (5), pp. 811-816
- Taylor, S. J. y Bodgan, R., *Introducción a los Métodos Cualitativos de Investigación*, Ed. Paidós, Barcelona, 1996.
- Torres, Noemí; Landau, Leonor; Baumgartner, Erwin; Alí, Salvador; Di Giácomo, María. Participantes: Callone, Cecilia; Monteserin, Haydée; Ricchi, Gastón. *Obstáculos que dificultan el aprendizaje*

*significativo de la química: un análisis transversal*. Publicado en el libro de resúmenes. Eudeba. Primer Congreso Internacional de Pedagogía Universitaria. Facultad de Derecho. CABA. 7-9 de septiembre de 2009.

Torres, N.; Callone, C.; Alí, S.; Landau, L.; Baumgartner, E.: *Abordaje multiestratégico utilizado para indagar en los procesos de razonamiento de los alumnos en equilibrio ácido-base*. Memorias del Congreso Internacional de Educación en Ciencias, "10 years of the Journal of Science Education", Cartagena, Colombia, 2009a, pp. 191

Torres, N.; Alí, S.; Callone, C.; Landau, L.; Baumgartner, E.: *Equilibrio ácido-base: avances en el diseño de un instrumento icónico destinado a detectar dificultades en su aprendizaje*. Memorias del Congreso Internacional de Educación en Ciencias, "10 years of the Journal of Science Education", Cartagena, Colombia, 2009b, pp. 191

Varettoni, Marcos y Elichiribehety, Inés. *Los registros de representaciones que emplean docentes de Educación Primaria: un estudio exploratorio*. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*. 2010, 5 (2) Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=1850-6666&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_serial&pid=1850-6666&lng=es&nrm=iso) (fecha de la última consulta enero de 2015)

Vosniadou, S.: Capturing and modelling the process of the conceptual change. *Learning and Instruction*, 1994, 4(1), pp. 45-69