

## LOS TEXTOS JUSTIFICATIVOS EXPRESADOS POR LOS ESTUDIANTES INFLUENCIAN LAS ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE QUÍMICA

Verónica Magdalena Relling, GIEQ, Química, FCEIA, UNR, [vrelling@fceia.unr.edu.ar](mailto:vrelling@fceia.unr.edu.ar)

Juliana Huergo, GIEQ, Química, FCEIA, UNR, [jhuergo@fceia.unr.edu.ar](mailto:jhuergo@fceia.unr.edu.ar)

María Eugenia Disetti, GIEQ, Química, FCEIA, UNR, [eugeniadisetti@hotmail.com](mailto:eugeniadisetti@hotmail.com)

Pablo Luis Faccendini, GIEQ, Química, FCEIA, UNR, [pfaccend@fceia.unr.edu.ar](mailto:pfaccend@fceia.unr.edu.ar)

Mabel Irene Santoro, GIEQ, Química, FCEIA, UNR, [msantoro@fceia.unr.edu.ar](mailto:msantoro@fceia.unr.edu.ar)

Cristina Susana Rodríguez, GIEQ, Química, FCEIA, UNR, [cristina@fceia.unr.edu.ar](mailto:cristina@fceia.unr.edu.ar)

**Resumen**— Propiciar la argumentación dialógica y enseñar a argumentar y justificar a través de la resolución de problemas implica a los estudiantes en estrategias de resolución que promueven la evaluación, la comprensión y los intercambios de significados. Sin embargo, no siempre se establecen interacciones que provoquen que el estudiante se haga responsable y autorregule su aprendizaje, además las estrategias utilizadas tampoco promueven una construcción compartida del conocimiento. Por ello, la resolución de problemas se acompaña con la enseñanza explícita de la construcción de textos argumentativos y justificativos que los estudiantes deben redactar en la evaluación de acreditación. Algunas debilidades detectadas en estos textos se relacionan con justificaciones o argumentaciones coherentes pero no válidas desde la química, y con concepciones erróneas que obstaculizan nuevos aprendizajes, dificultan la comprensión de los enunciados y consecuentemente la elección de los soportes teóricos. A partir de este análisis ampliamos nuestro conocimiento didáctico del contenido, aplicamos nuevas estrategias didácticas y modificamos los enunciados de problemas para futuras evaluaciones. Cambiamos ejercicios de química por problemas de aplicación ingenieril, en los que hay datos implícitos que deben surgir del marco teórico puesto en juego. Concluimos que los cambios realizados impactaron en los procesos de enseñanza y aprendizaje, y que problemas integrados requieren un mayor desarrollo de la competencia “resolución de problemas” y de la capacidad de argumentar.

**Palabras clave**— Textos justificativos, textos argumentativos, resolución de problemas, competencias.

## **1. Introducción**

En este trabajo se reseña cómo se modificaron las actitudes, expectativas y el conocimiento de docentes e investigadores pertenecientes al Grupo de Investigación en Educación Química (GIEQ), respecto de la enseñanza y aprendizaje de la química en carreras de ingenierías no química de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) entre los años 2012 y 2017. Se describen episodios significativos (vivencias e investigaciones) de la actuación del GIEQ, en la única asignatura de química de las carreras de ingeniería de la UNR. El análisis de los textos explicativos, argumentativos y justificativos escritos por los estudiantes en las evaluaciones de acreditación, conjuntamente con los indicadores construidos a partir de las expresiones orales de los estudiantes en las diferentes instancias de aprendizaje, condujo a la implementación de cambios metodológicos los cuales, posibilitaron el fortalecimiento en los estudiantes de aquellas capacidades que aportan al desarrollo de competencias del ingeniero y el desarrollo de actitudes favorables hacia un aprendizaje colaborativo y responsable.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. La importancia de argumentar y justificar**

La enseñanza explícita de la capacidad de argumentar y justificar es fundamental, pues permite a los estudiantes el ejercicio de procesos y actitudes democráticas, en espacios para la crítica y las discusiones. Se trata de enseñar y aprender a fundamentar decisiones y apoyar justificaciones y refutaciones [1]. La argumentación dialógica, por su parte, promueve la evaluación, la comprensión y los intercambios de significados.

### **2.2 La necesidad de argumentar en química**

Para hablar o escribir ciencia es necesario conocer el patrón temático (el modelo teórico y los conceptos y /o experiencias asociadas) y el patrón estructural, relacionado con el tipo de discurso empleado (las estructuras retóricas y los diferentes géneros) [2]. El patrón temático hace referencia a los conceptos implicados en la resolución de los ejercicios de química, mientras que el patrón estructural se refiere a la interacción dialógica, justificando los procedimientos y cálculos para arribar al resultado y argumentando por qué se elige una opción entre varias. A partir de estas ideas, la enseñanza de ejercicios numéricos de química se basa en la explicitación de ambos patrones.

### **2.3 La resolución de problemas**

Según Solaz Portolés y col [3, 4], investigadores en didáctica de las ciencias experimentales, la resolución de problemas es una de las estrategias más utilizadas por los profesores de ciencias en la instrucción y en la evaluación. Asimismo, desempeña un papel crucial en el currículo de ciencias, y, como competencia básica, es uno de los objetivos más importantes de la educación en ciencias. Además, tanto en modelos de enseñanza y aprendizaje tradicionales como en los más innovadores, la resolución de problemas es una actividad obligada y específica, cuya relevancia queda legitimada y potenciada al incluirse en todas las instancias de evaluación [5]. Por otro lado, más allá de las dificultades conceptuales, los estudiantes tienden a abordar los problemas

centrando sus esfuerzos en alcanzar el resultado correcto, poniendo el énfasis en la búsqueda de la fórmula adecuada y llegando, en ocasiones, a la solución correcta sin haber comprendido lo que han hecho [5, 6].

## **2.4 Resolver problemas en el aula de química**

Considerando a un problema como una situación en la cual se desconoce el camino a seguir para llegar a la solución, y a un ejercicio como el conocer dicho camino por experiencia previa, aclaramos que en el aula de química se trabaja principalmente con problemas para los estudiantes de ingeniería, y que para su resolución se requieren determinadas competencias.

El concepto de “competencia”, si bien es diverso y puede abordarse desde diferentes puntos de vista, es ampliamente aceptado como “saber hacer en un contexto”. Para “saber hacer” no basta con construir conocimientos, es necesario desarrollar habilidades, destrezas y actitudes que, en conjunto con las características personales, nos permiten “hacer” en un contexto sugerido [7]. Dentro de las competencias, interesa en nuestra didáctica vincular “Resolver Problemas” con “Comunicarse con Efectividad” [8]. Así, en pos de mejorar la capacidad para resolver problemas, la enseñanza contempla la resolución propiamente dicha y conjuntamente determinadas habilidades cognitivo-lingüísticas. De acuerdo a esto y desde la perspectiva Toulminiana, se le otorga a la expresión “justificación química” el significado que Sardà Jorge y Sanmartí Puig [9] le confieren al término justificar: “son las razones (reglas, leyes, definiciones, principios, etc.) que se proponen para que los datos y la conclusión no resulten inconexos”. Por ello, al resolver un problema deben estar presentes los datos, el resultado y la justificación de la elección de los mismos y de los procedimientos que permitan arribar al resultado. En ciertos casos, cuando se solicita la elección de una opción entre varias propuestas, es necesaria la expresión de un fundamento teórico que respalde la justificación.

En términos de capacidades, se considera importante que los estudiantes desarrollen habilidades relacionadas con: a) Comprensión lectora: interpretar, significar términos del enunciado, extraer datos, reconocer información faltante; representar simbólicamente el fenómeno químico, identificar las incógnitas; b) Resolución del problema: justificar los datos elegidos desde la teoría subyacente para arribar a la conclusión; establecer relaciones matemáticas entre datos y conclusión; justificar el criterio de selección de un procedimiento matemático; realizar cálculos matemáticos de validez química, evaluar los resultados intermedios; obtener un resultado coherente con la situación y comunicar los resultados en un lenguaje adecuado. Con respecto a los cálculos, no se admiten como químicamente válidos algunos de los siguientes procedimientos:

a) para la aplicación del concepto porcentaje de pureza, plantear las relaciones matemáticas sin unidades y/o reglas de tres expresadas en porcentajes. Por ejemplo, en el problema 2 no está admitido decir:

$$\begin{array}{l} 100\% \text{----} 160 \\ 20\% \text{-----} x \\ x = 32 \text{ g de oxígeno} \end{array}$$

b) Para cálculos estequiométricos, plantear ecuaciones matemáticas de primer grado sin verificar el reactivo limitante.

c) En la resolución de problemas de equilibrio químico, los valores negativos de  $x$  (concentración)

Por todo lo mencionado, los estudiantes deben interpretar aquello que leen y se les solicita, y demostrar que pueden escribir textos científicos argumentativos y justificativos, coherentes con sus conclusiones como parte del aprendizaje de comunicar en ciencias. Además, como lo afirman algunos autores [9], estas capacidades contribuyen a hacer públicos los procesos cognitivos y a la apropiación de la cultura y las prácticas científicas, así como a desarrollar el razonamiento. Enseñar a resolver problemas, conjuntamente con el desarrollo de las habilidades anteriormente mencionadas, esto es, los dos patrones, favorece la comunicación efectiva en Química en el contexto de las carreras de ingenierías no químicas.

## **2.5 La asignatura Química en FCEIA**

La asignatura corresponde al único curso de Química del plan de estudio, y no posee instancia introductoria. Está destinada a estudiantes de ingenierías mecánica, civil, eléctrica, electrónica, industrial y agrimensura. Es cuatrimestral y se dicta en ambos cuatrimestres. La carga horaria estipulada es de cinco horas semanales en el segundo año de las carreras de ingeniería (2 horas de teoría y 3 horas de formación práctica en resolución de problemas y laboratorio). Para la actividad áulica, los estudiantes se distribuyen en seis comisiones de aproximadamente cincuenta alumnos de las diferentes terminales (este número se mantiene aproximadamente constante en todos los cuatrimestres). Si bien el discurso es único para todas las terminales, se considera que el desarrollo y adquisición de las capacidades, habilidades y destrezas logradas, contribuyen a la comprensión y aprendizaje de asignaturas posteriores que van definiendo la especialidad de las ingenierías. Las instancias de aprendizaje programadas son: clases de teoría, clases de problemas (en aula), clases de laboratorio (instancia experimental), clases de consulta, instancias de evaluación (dos únicas evaluaciones con las que se acredita la asignatura) y revisión personalizada de evaluaciones.

En este contexto, se deben superar desafíos constantes y permanentes por lo cual la pertinencia y la adecuación de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Química al proyecto educativo de la FCEIA, han resultado y resultan sumamente complejas. Consecuentemente, se requiere un gran esfuerzo de investigación e innovación, educativa y disciplinar permanente, en pos de una didáctica idónea para esta comunidad de estudiantes que, a su egreso, no serán químicos.

## **3. Revisión cronológica de nuestra práctica docente**

Se exponen algunos resultados arrojados por la investigación educativa, obtenidos, en gran medida, a partir del análisis de las respuestas escritas por los estudiantes en las evaluaciones de acreditación, como así también de indicadores obtenidos en las instancias de encuentro entre docentes y alumnos a lo largo del cuatrimestre. Para finalizar, se destacan el impacto que las conclusiones de la investigación educativa tuvieron sobre la propia práctica de los docentes y que, consecuentemente, se estructuran en una nueva propuesta para el siguiente año.

### **3.1 Año 2012**

### **3.1.1 Material didáctico**

Los docentes responsables de la cátedra de química publicaron el libro de referencia denominado “Introducción a la Química General para Ingenierías y Ciencias Exactas” [10]. El mismo surgió con el objetivo de acercar a los alumnos a la química desde una perspectiva ingenieril, intentando contextualizar la práctica docente. El libro presenta, de todos los temas desarrollados en el cuatrimestre, contenido teórico, ejemplos de aplicación y ejercicios resueltos con sus justificaciones. En el último capítulo hay ejercitación adicional con los resultados de problemas similares a los de las evaluaciones. Asimismo, se presentan ejemplos de textos argumentativos. En la actualidad, este libro es el soporte bibliográfico de la asignatura.

### **3.1.2 Las evaluaciones de acreditación**

Las evaluaciones se estructuran en dos secciones, partes teórica y práctica. En 2012, el 60% del puntaje de la evaluación teórica correspondía a la redacción de textos argumentativos. En la parte práctica se proponían problemas integrados, que presentaban reacciones químicas espontáneas, en los cuales se solicitaba sólo cálculo, con todos los datos necesarios y en algunos casos, las representaciones simbólicas de las transformaciones. Los problemas intentaban integrar contenidos pero no siempre respondían a situaciones ingenieriles. No se evaluaba la capacidad justificar o argumentar en esta parte. A modo de ejemplo, se presenta el Problema 1 de la evaluación de acreditación de ese año, en el que se evalúan dos temas, mediante dos preguntas conceptuales y una de cálculo en una transformación espontánea.

**Problema 1.** *Dada la siguiente celda electroquímica: Electrodo estándar de aluminio/ 0,5 L de solución acuosa de sulfato de aluminio // electrodo estándar de gas dihidrógeno/ 1 L de solución de ácido clorhídrico. a) Indique el cátodo y el ánodo. b) Indique la especie química que aumenta su concentración en el anolito y la especie química que baja su concentración en el catolito. c) Calcule el pH final del catolito y anolito luego del pasaje de 0,6 F.*

### **3.1.3 Las clases**

En las tareas de aula, el docente resolvía problemas del libro de referencia de la cátedra [10] en el pizarrón, mientras los estudiantes copiaban en sus cuadernos la información volcada y consultaban ante alguna duda. Eventualmente, se generaba una interacción dialógica. En la actividad experimental, con un alto número de estudiantes por curso (veinticinco) se trabajaba con clases demostrativas. En las instancias de clases de revisión de evaluaciones, el diálogo era más intenso y a veces acalorado.

### **3.1.4 Reuniones docentes**

El cuerpo docente (5 miembros) de la cátedra se reunía antes del comienzo y al finalizar cada cuatrimestre. Estos encuentros, donde se discutían las observaciones del cuatrimestre, permitieron arribar a la conclusión general que los problemas de cálculo eran mejor resueltos que las preguntas teóricas. Es decir, no se observaban grandes dificultades en la resolución de ejercicios, debido a que éstos eran similares a los resueltos por los docentes en las clases y en el libro.

### **3.1.5 La investigación educativa**

A partir de las observaciones en las distintas instancias de enseñanza y aprendizaje y del análisis de las interacciones docente - alumno, se construyeron ciertos indicadores que describían a los estudiantes durante ese año: i) facilidad para el cálculo matemático; ii) dificultad para situarse en el marco teórico del problema de cálculo; iii) dificultad para explicar y fundamentar procedimientos, resultados y conclusiones.

### **3.1.6 Impacto en la labor docente**

Se propuso para 2013 presentar a los estudiantes la expresión oral de argumentos, explicaciones, justificaciones en el aula y el laboratorio.

## **3.2 Año 2013**

### **3.2.1 Las clases**

La justificación química cobra protagonismo, como parte del discurso docente en las clases de aula y laboratorio.

### **3.2.2 Las evaluaciones de acreditación**

Para conocer el impacto del discurso, las evaluaciones de acreditación incluyeron: justifique, explique, argumente si está o no de acuerdo. Ejemplo de un problema (Problema 2) de la evaluación de ese año, donde se evaluó únicamente el tema Estequiometría.

**Problema 2.** Para proceder a la síntesis de agua gaseosa, en un reactor se introducen 8g de gas hidrógeno y 160g de aire que contiene 20% de dióxígeno. La representación simbólica del proceso es:  $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ . Calcule la cantidad de sustancia agua(g) formada considerando un rendimiento de 100%. Justifique la resolución. b) Si luego de finalizada la reacción se obtuvieron 4,5 g de producto, calcule el rendimiento de la misma

### **3.2.3 La investigación educativa**

Al analizar los cálculos y los textos escritos por los estudiantes en el ítem (a) del Problema 2, se obtuvo la siguiente información, publicada oportunamente [11]: de los 175 estudiantes que entregaron la resolución, el 65 % respondió el ítem a. Sin embargo, ninguno (0%) logró una justificación coherente y completa, mientras que solamente el 23% de los estudiantes pudieron redactar una justificación, aunque la misma no fue completa. Luego, del análisis de los resultados anteriores, y considerando que un alto porcentaje de estudiantes (42%) logró dar una respuesta correcta, sin justificación, se construyeron algunos indicadores. Uno de ellos fue: “resoluciones limitadas a la aplicación de algoritmos, con resultado correcto pero con procedimientos de nula validez química”.

### **3.2.4 Impacto en la labor docente**

Como consecuencia de la investigación, se concluyó que debía desalentarse la resolución mecánica e insistir con énfasis en la resolución razonada y justificada de ejercicios numéricos, aplicando para ello el modelo de “justificación química”,

indicando cuáles son los datos (explícitos y conceptuales), y cómo y por qué se eligen determinados procedimientos para la resolución. Se gestó entonces un nuevo proyecto de investigación en educación química y un cambio en la didáctica de las clases de problemas.

### **3.3 Año 2014**

#### **3.3.1 Un nuevo proyecto de investigación**

Considerando lo anteriormente expuesto, y sumado a ello, la convicción de que la contribución de la asignatura Química al plan de estudios de las ingenierías de la FCEIA de la UNR debía ir más allá de lo disciplinar, surgió un nuevo proyecto de investigación, denominado “La Resolución de Problemas de Química en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la UNR. Competencias Genéricas y Específicas”. El mismo privilegia el desarrollo y fortalecimiento de capacidades como argumentar y justificar resoluciones, resultados y procedimientos, siendo uno de los objetivos construir un modelo de justificación química en la resolución de problemas numéricos y aplicarlo en actividades de formación práctica.

#### **3.3.2 Las clases**

Las clases de problemas se organizaron en tres etapas. Una primera etapa expositiva en la que los docentes presentaban, muy brevemente, el marco teórico del tema a desarrollar. En la segunda etapa se resolvía en el pizarrón varios ejercicios destacando marco teórico, conceptos utilizados, lógica de la resolución. En la tercera etapa, los estudiantes resolvían un problema en forma grupal, interpretaban el problema, intercambiaban opiniones sobre el modo de resolverlo, y como cierre se comparaban y discutían resultados. Desde el discurso docente se reforzaba la importancia de justificar en química y se ejemplificaba en cada oportunidad posible.

#### **3.3.3 Las evaluaciones**

Se propuso evaluar la habilidad de los estudiantes para justificar. Por ello se incluyó en las instancias de acreditación problemas que requirieran justificación en forma explícita. A continuación se presenta como ejemplo el Problema 3 de la evaluación de acreditación de ese año, en el que se evaluó un tema, mediante dos preguntas de cálculo, en una de ellas se solicitaba la justificación de los procedimientos, y particularmente la representación simbólica de la transformación espontánea.

**Problema 3.** *Para producir la síntesis de monóxido de calcio se introducen en un reactor 32 g de gas dióxígeno y 80 g de un material que contiene calcio al 40 % de pureza. a) Represente mediante una ecuación química la síntesis irreversible del monóxido de calcio sólido; b) Calcule la masa de producto al 100 % de rendimiento y justifique los cálculos. Si luego de finalizada la reacción se produjeron 0.1 mol de producto; c) Calcule el porcentaje de rendimiento de la reacción.*

#### **3.3.4 La investigación educativa**

Se analizaron las respuestas al Problema 3 de 25 estudiantes y se encontró que los mismos presentaban un buen desarrollo de destrezas matemáticas de validez química y

habilidades propias de la resolución del problema, como: cálculo de masa de sustancia presente en el material, determinación del reactivo limitante (RL), cálculo de rendimiento y concepto cantidad de sustancia. Sin embargo, muy pocos estudiantes lograron justificar por qué la necesidad de determinar el RL, o la masa de sustancia en el material. En general, no escribieron justificaciones sino la descripción del procedimiento matemático. Además, otro punto débil en las resoluciones era la representación simbólica de las sustancias y del fenómeno descripto. Los resultados de este análisis fueron publicados [12].

### **3.3.5 Impacto en la labor docente**

A la luz de los resultados obtenidos, se asumió que la debilidad mostrada por los estudiantes para justificar procedimientos pudo deberse a una pobre interacción dialógica en el aula con falta de debate oral. Por otro lado, se propuso que, desde el laboratorio, se debía reforzar la habilidad para describir las observaciones macroscópicas así como la destreza para representar simbólicamente fenómenos observados. Se resolvió implementar cambios en las clases prácticas de problemas y de laboratorios.

## **3.4 Año 2015**

### **3.4.1 Material didáctico**

Los docentes produjeron un nuevo material bibliográfico. El mismo consistió en una serie de ejercicios resueltos, de todos los temas desarrollados en el curso, acompañados de textos de referencia de justificación en cada problema. En total nueve de estos archivos fueron incluidos en el soporte bibliográfico de la asignatura, disponible para los estudiantes en la plataforma digital de la Facultad. El objetivo de la construcción y publicación de este material fue que los estudiantes pudieran acceder en cualquier momento y lugar a textos de referencia, a una información validada por los docentes fomentando así la autonomía en el aprendizaje. Paralelamente, se desarrolló la “*Guía de Informes de Laboratorio*” la cual desde entonces es utilizada por los estudiantes en las instancias experimentales. Esta guía incluyó propuestas de trabajo para promover diversas habilidades. Los informes de laboratorio se evaluaban y su aprobación era requisito, y sigue siéndolo, para acreditar la instancia experimental obligatoria.

### **3.4.2 Las clases**

Con el soporte del material didáctico antes mencionado, los estudiantes tomaron un rol más activo. En el laboratorio se les solicitaba la redacción de un informe en el que debían representar simbólicamente, clasificar transformaciones observadas, describir sus observaciones, organizar información. Por otro lado, en las clases de problemas se comenzó a trabajar con problemas inéditos. Si bien los estudiantes se involucraban en la resolución de algún problema, en gran medida seguía predominando una actitud pasiva. Los docentes seguían siendo quienes resolvían gran parte de los problemas propuestos, explicaban, interpretaban enunciados, justificaban los procedimientos, presentaban resoluciones alternativas y explicitaban la coherencia de los resultados en el marco teórico del problema a resolver.



### 3.4.3 Las evaluaciones

Durante el año 2015, se realizó una evaluación diagnóstica para conocer las capacidades involucradas en la resolución de problemas al inicio del cursado. Para ello, los estudiantes resolvieron el primer día de clase el Problema 4, en el que se evaluó mediante dos preguntas teóricas, dos aspectos acerca de las reacciones espontáneas e irreversibles.

**Problema 4.** Lea atentamente:

Se hizo reaccionar un material que contiene cinc al 65,0% de pureza, con solución de  $\text{HCl}(ac)$ . La reacción cursó con 89% de rendimiento y es representada por:  $\text{Zn}(s) + 2 \text{HCl}(ac) \rightarrow 2 \text{H}_2(g) + \text{ZnCl}_2(ac)$  Al finalizar la reacción, el volumen de gas obtenido fue 40L en CNPyT. Responda las siguientes preguntas con MAYOR, MENOR o IGUAL, y justifique dicha respuesta.

- a) ¿Cómo será el valor del Volumen de gas obtenido si el porcentaje de rendimiento fuera 100 % (manteniendo constantes todos los otros datos)?
- b) ¿Cómo será el valor del volumen de gas obtenido si el porcentaje de pureza del cinc fuera 90 % (manteniendo constantes todos los otros datos)?

Al finalizar el cursado, se solicitó a los estudiantes como parte de la evaluación de acreditación, que resolvieran el Problema 5, en el que no se representaron transformaciones. Los estudiantes debían inferir cuál era espontánea a partir de los conceptos teóricos y luego calcular y justificar los procedimientos correspondientes.

**Problema 5.** Un efluente industrial contiene disueltas las siguientes sustancias: tricloruro de aluminio, dicloruro de calcio y monocloruro de potasio. El análisis cuantitativo de una muestra arrojó los siguientes resultados:  $[\text{Al}^{3+}(ac)] = 2M$ ,  $[\text{Ca}^{2+}(ac)] = 0,5 M$  y  $[\text{K}^+(ac)] = 0,1M$ . a) Calcule la cantidad de anión cloruro presente en la muestra; b) Calcule el pH del efluente. Justifique la resolución y el resultado; c) Si electrolizara este efluente en condiciones estándar, indique y justifique qué sustancia obtendría en el cátodo.

### 3.4.4 La investigación educativa

En el contexto del proyecto de investigación antes mencionado, durante el año 2015, se analizaron las capacidades involucradas en la resolución de problemas que mostraban los estudiantes tanto al inicio (Problema 4) como al final del cursado (Problema 5). Las respuestas de los estudiantes fueron examinadas en base a los modelos de justificación de referencia. Los resultados obtenidos y publicados [13] mostraron que al inicio del cursado, tan solo 10 % de los estudiantes (en total 80) justificó correcta y completamente el Problema 4, explicitando los conceptos utilizados, mientras que un 20% no pudo justificarlo, lo hizo mal o de forma incoherente, el resto entregó sin resolver. Por otro lado, al finalizar el primer cuatrimestre, se analizaron las respuestas del Problema 5. Para los incisos a, b y c, se obtuvo 67%, 71%, 43% de cálculos correctos, respectivamente, mientras que solamente el 33% de los estudiantes (sobre un total de 38) pudo responder correctamente a los 3 ítems, con la justificación adecuada.

A partir del análisis de lo expresado por los estudiantes, se detectaron debilidades para: planear una secuencia de resolución; comunicar resultados coherentemente y en gran medida para justificar. Posiblemente por primera vez en la carrera, se enfrentaron al desafío de escribir textos justificativos y argumentativos para demostrar que

realizaron un aprendizaje significativo y que estaban en condiciones de acreditar la asignatura.

### **3.4.5 Impacto en la labor docente**

A partir de los resultados de la investigación, se consideró para el siguiente período lectivo profundizar con los estudiantes lo referido a la lectura y la escritura de textos justificativos y argumentativos que respondieran a la solución de cuestiones inherentes a los problemas ingenieriles.

## **3.5 Año 2016**

### **3.5.1 Las clases**

A comienzos de 2016, durante las clases de problemas, se abordó la justificación explícita, expresada por el docente en algunos casos y en otros por los estudiantes. Por ejemplo, en la clase correspondiente al tema Estequiometría, luego de una muy breve introducción por parte del docente, los estudiantes en grupos resolvieron problemas inéditos. Las resoluciones escritas de estos problemas fueron entregadas al docente, corregidas y devueltas. Posteriormente, se procedió a analizar las mismas.

### **3.5.2 Evaluaciones de acreditación**

Se incluyeron, como parte de la evaluación, problemas que requerían para su correcta resolución, un profundo análisis de los enunciados, la discriminación de datos en necesarios e innecesarios, la selección del marco teórico apropiado y la expresión de textos justificativos. A continuación, se presentan dos ejemplos de problemas (Problemas 6 y 7) de la evaluación de acreditación de ese año. En el Problema 6 los estudiantes debían inferir, a partir del marco teórico, que los reactivos propuestos no reaccionaban espontáneamente en las condiciones presentadas. Luego, a partir de este análisis, las preguntas se respondían sin realizar cálculos.

**Problema 6.** *Dos piezas de cobre de igual superficie específica, y de masa 26 g, se sumergen en recipientes separados conteniendo ambos solución de ácido clorhídrico de  $pH= 0,30$ . Uno de los recipientes contiene 0,2 L y el otro contiene 0,5 L de solución ácida. a) ¿En cuál de los recipientes se producirá mayor cantidad de producto y en cuál de los recipientes el producto se producirá a mayor velocidad? Justifique su respuesta. b) Estime y justifique el  $pH$  final de las mezclas.*

En el Problema 7 había tres situaciones en las que los estudiantes debían inferir los marcos teóricos que les permitieran decidir si, entre los reactivos propuestos, se puede dar o no una reacción espontánea. Luego, los cálculos solicitados se justificaban a partir de este análisis y de los procedimientos relacionados.

**Problema 7.** *Se preparan 3 recipientes con 1L de solución 1M de HCl y se agrega a cada uno, una de las siguientes sustancias sólidas: a) 10 g de cloruro de plata; b) 15 g de cobre metálico; c) 20 g de carbonato de calcio. Represente y justifique los fenómenos que podrían ocurrir en cada recipiente. Calcule el  $pH$  final en cada uno de los TRES CASOS.*

### **3.5.3 La investigación educativa**

Se analizaron los problemas resueltos por los estudiantes, tanto en la clase de Estequiometría como en las evaluaciones de acreditación del segundo semestre de 2016. Se evaluaron cálculos y justificaciones, teniendo en cuenta si éstas fueron completas, coherentes o no.

En la clase de estequiometría, de los cuarenta y cuatro grupos de entre 1 y 4 estudiantes (sobre un total de 102) que presentaron los problemas escritos, cuarenta y dos grupos llegaron al resultado correcto, sin embargo ningún grupo pudo escribir las justificaciones completas. La capacidad con mayor nivel de logro fue la resolución propiamente dicha de estos problemas aplicados a temas ingenieriles. Los alumnos pudieron calcular pero no lograron justificar.

En la evaluación de acreditación, los resultados de la investigación educativa [14] mostraron que, en el Problema 6, la mayoría de los estudiantes no analizó la espontaneidad del fenómeno. Simplemente aplicó conocimientos de estequiometría, cinética y algoritmos matemáticos. El 71% de los estudiantes (sobre un total de 154) resolvió y justificó correctamente los procedimientos y el resultado, sin tener en cuenta que no era una reacción espontánea.

Luego del análisis de las resoluciones del Problema 7, se destaca que de los tres ítems a, b y c, el b fue con el que lograron mejores resultados, el 83% de los estudiantes (sobre 60 analizados) expresó correctamente que no se disuelve el sólido; solamente el 47% pudo justificarlo, mientras que el 67% calculó correctamente el pH. Para el ítem c, se observaron 2 justificaciones coherentes, válidas lingüísticamente, pero incorrectas desde la química. Por eso, este tipo de justificaciones se consideraron “coherentes pero no válidas desde la química”. Ellas son las siguientes:

*“El cloruro de plata no se disuelve en clorhídrico porque el catión plata ya está oxidado”*

*“El carbonato de calcio sí se disuelve en clorhídrico porque el calcio sólido del carbonato de calcio reacciona con el catión oxonio del ácido y se disuelve”*

Con una frecuencia de aparición alta (10 alumnos), para este mismo ítem, existió una tercera opción: justificación coherente pero no válida (reacción redox entre carbonato de calcio y clorhídrico) y resolución matemática considerando una nueva reacción entre los reactivos, correctamente representada (reacción ácido-base entre carbonato de calcio y clorhídrico). La expresión de los alumnos fue la siguiente: *“El carbonato de calcio se disuelve en ácido clorhídrico a través de un mecanismo redox”*. A continuación de esta expresión, escribieron la ecuación química correcta y realizaron los cálculos sin dificultades.

En todos estos ejemplos, se observó el esfuerzo del estudiante por escribir una justificación, no habitual en los alumnos de ingeniería.

### **3.5.4 Impacto en la labor docente**

Durante las clases de problemas, al enfrentarse con el enunciado, sin la intervención del docente para interpretarlo, el estudiante evidenció una notoria debilidad en la comprensión lectora. Las falencias en la comunicación se comprobaron en las dificultades para identificar los datos implícitos, describir un fenómeno, justificar un

procedimiento algebraico, o la elección de un marco de referencia. Se propuso entonces focalizar la práctica áulica para el siguiente año en la resolución y/o experimentación de problemas, contextualizados en problemáticas ingenieriles durante todo el cursado de la asignatura [8]. Además, se consideró oportuno rediseñar las clases de problemas para propiciar una didáctica centrada en la participación del estudiante, en su aprendizaje, en su propio interés y su responsabilidad.

### **3.6 Año 2017**

#### **3.6.1 Material didáctico**

El cambio en la estructura de la clase debió ser acompañado por el desarrollo de la “*Guía de clases de problemas*”, la cual se construyó con situaciones problemáticas, sin respuestas. En el aula los estudiantes debieron resolver, discutir grupalmente y exponer oralmente sus justificaciones. Los problemas de la nueva guía fueron ideados con intención didáctica. En general, se acercaban a una situación de ingeniería, donde un modelo teórico químico permitía el enfoque para la resolución del mismo. Los estudiantes debían identificar ese marco teórico e interpretar la descripción de fenómenos observables para construir la representación simbólica de las transformaciones o los sistemas, identificar los datos indispensables y los que no lo son, plantear procedimientos, fórmulas y leyes utilizadas, justificar coherentemente cada paso y redactar una respuesta. Uno de los problemas presentados fue el siguiente,

**Problema 8.** *En el agua obtenida de un depósito, la concentración de anión nitrito,  $[\text{NO}_2^-(ac)]$  es  $3,5 \times 10^{-3} \text{ M}$  y la de anión nitrato,  $[\text{NO}_3^-(ac)]$  es  $5,0 \times 10^{-3} \text{ M}$ . Justifique si esta agua cumple con la norma que establece para el elemento nitrógeno concentraciones menores de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ .*

#### **3.6.2 Las clases**

A partir del primer semestre de 2017, se introdujeron cambios en la estructura de las clases de problemas, donde los estudiantes comenzaron a poner en juego tanto capacidades específicas de química como sus habilidades para comunicarse eficientemente. Las clases, que previamente mostraban un alto carácter expositivo, se volvieron del tipo dialógico. Las actividades se centraron definitivamente en el trabajo del estudiante, consistieron en un espacio de resolución de problemas integrados con muy breve o nula explicación previa de los docentes. Se generaron instancias de discusión oral, donde los estudiantes presentaban en el pizarrón la resolución numérica de los problemas, exponían la justificación de sus procedimientos y defendían oralmente sus propuestas frente a las interpelaciones de los docentes o de otros estudiantes. Los docentes como facilitadores formulaban nuevas preguntas, planteaban absurdos, proponían otras situaciones para promover el debate y facilitar la comprensión de los conceptos centrales del tema desarrollado. Por otro lado, las instancias experimentales, con un número menor de estudiantes, entre 10 y 16, se resignificaron, dando más énfasis a la construcción de significados compartidos y a la argumentación dialógica. Asimismo, los informes de laboratorio se tornaron más completos y constituyeron un material de estudio valorado por los estudiantes.

### 3.6.3 Las evaluaciones

Los enunciados de los problemas en las evaluaciones fueron contruidos teniendo en cuenta los mismos criterios que para la *Guía de clases de problemas*. Representaron una situación de interés ingenieril, con datos implícitos y otros que no serían de utilidad, con el requisito de considerar distintos marcos teóricos en el proceso de resolución, integrando conceptos. Además, se solicitó justificación de la selección de datos, el marco teórico y los procedimientos algebraicos. En el problema 9 de la evaluación de acreditación de ese año, se evaluaron dos temas. De los 79 estudiantes que resolvieron el problema 9, 30,4% lo hizo correctamente, 43% respondió con una justificación coherente, en algunos casos incompleta, y en otros no válidos desde la química, el resto entregó sin contestar.

**Problema 9.** *Para construir una plaqueta electrónica, se desean disolver 12 g de cobre metálico para formar el circuito. 1) Indique y justifique cuál de las siguientes soluciones elegiría para lograr el objetivo a)  $\text{HCl}(\text{ac})$  0.5 M; b)  $\text{FeCl}_3(\text{ac})$  0.8 M. 2) Si la plaqueta se sumerge en 2L de la solución elegida, demuestre numéricamente si es posible disolver totalmente el cobre. 3) Considerando que se operó sobre la solución sobrante para llevarla a condiciones estándar. Escriba el nombre de la primera sustancia simple que se descargaría en el cátodo, si se electrolizara la solución resultante durante un tiempo prolongado.*

En tres casos se encontró una expresión que es una justificación correcta pero no válida desde el punto de vista de lo que es una justificación química.

*“Utilizaría el  $\text{FeCl}_3$  llamado percloruro férrico porque es el que se usa más comúnmente”*

*“No usaría ácido clorhídrico porque sé que las piezas de cobre se limpian con este ácido”*

*“No usaría ácido clorhídrico porque en el laboratorio vimos que el cobre no se disuelve con el ácido clorhídrico”*

### 3.6.4 Los docentes

Ampliado el cuerpo docente a diez profesores, se logró ofrecer nuevas instancias de aprendizaje, como talleres de escritura y nomenclatura de sustancias químicas, de transformaciones químicas y de estequiometría. Además, se pudo abrir mayor cantidad de grupos de laboratorio.

Por otro lado, a partir del comienzo del ciclo lectivo de 2017 con un alto nivel de compromiso, se realizaron reuniones con mayor frecuencia. Se desarrollaron durante tres horas semanales, generando instancias de formación docente, reflexión acerca de la propia práctica, debates sobre el desempeño de los docentes y el de los estudiantes y análisis sobre los resultados de la investigación en educación. Además, y como producto de la reflexión crítica sobre la actividad académica, se reconoció la importancia de la enseñanza de química basada en la escritura y oralidad de argumentaciones, justificaciones y explicaciones, siendo todos ellos términos que deben ser resignificados, pues en química no son sinónimos.

### **3.6.5 La investigación educativa**

Durante el desarrollo de las instancias de consulta y talleres en el cuatrimestre, se observaron cambios positivos en las actitudes de los estudiantes hacia el aprendizaje de esta asignatura, evidenciado a través de los siguientes indicadores: i) reconocimiento de la importancia de la claridad en los procedimientos escritos; ii) inquietudes y motivaciones acerca de lo que es una justificación correcta y coherente; iii) importancia en cuanto a la coherencia conceptual de los resultados, del uso de las unidades de las diversas magnitudes, del empleo de fórmulas y leyes; iv) interés acerca de diversos modos de resolver un mismo problema (procedimientos alternativos y válidos); v) motivación en cuanto a las problemáticas aplicadas de la ingeniería vinculadas con química.

## **4. A modo de conclusión**

El desarrollo de las capacidades de argumentar y justificar es un logro de cada estudiante. Más allá de la asignatura Química, estas habilidades facilitan el aprendizaje de asignaturas del ciclo de formación profesional. Más aún, fuera del ámbito universitario, permiten dar opiniones, discutir respetuosamente, promover iniciativas, objetar propuestas en la vida profesional y ciudadana.

La producción de textos argumentativos y justificativos por parte de los estudiantes es una valiosa herramienta, ya que pone en evidencia procesos mentales y errores relacionados con conceptos y significados que no se detectarían a partir de un simple cálculo.

Si bien no ha resultado fácil lograr que un alto porcentaje de estudiantes logre las habilidades que propuestas a desarrollar en el período analizado en este trabajo, se considera que, quienes acreditan la asignatura en un cuatrimestre, han adquirido un nivel alto de desarrollo de competencias específicas y algunas transversales. La resolución correcta de situaciones problemáticas complejas cercanas a la realidad demuestra dichos logros. Para finalizar, esta reflexión no es de carácter aislado o catártico, sino que es grupal, dialéctica y sistematizada, tal como lo demuestran las publicaciones citadas y se evidencia, a modo de reseña histórica y revisión bibliográfica, en este trabajo.

## **5. Bibliografía**

[1] HENAO, B.L.; STIPCICH, M.S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 7 N°1 p. 47-62

[2] LEMKE, J.L. (1993) Talking science: language, learning and values. *Ablex publishing corporation, Nordwood. Cultural Dynamics* Volume: 6 (1-2), 243-275

[3] SOLAZ PORTOLÉS, J.J.; SANJOSÉ LÓPEZ, V. (2008). Conocimientos y procesos cognitivos en la resolución de problemas de ciencias: consecuencias para la enseñanza. *Revista Internacional de Investigación en Educación*, 1, 147-162.

[4] SOLAZ PORTOLÉS, J.J.; SANJOSÉ LÓPEZ, V.; GÓMEZ LÓPEZ, Á. (2011) Aprendizaje basado en problemas en la Educación Superior: una metodología

necesaria en la formación del profesorado *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 25, 177-186.

[5] MARTÍNEZ LOSADA, C.; GARCÍA BARROS, S.; MONDELO ALONSO, M.; VEGA MARCOTE, P. (1999). Los problemas de lápiz y papel en la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 211-225.

[6] VÁZQUEZ BERNAL, B.; JIMÉNEZ PÉREZ, R. (1999) La importancia de la discusión a través de la evaluación en la resolución de ejercicios de Física y Química. En C. Martínez y S. García (Ed.) *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales*, 477-486. A Coruña: Serv. Publicaciones Universidad A Coruña.

[7] CONFEDI (2014). Competencias en ingeniería. Declaración de Valparaíso sobre Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Iberoamericano. Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Argentino. Competencias Requeridas para el Ingreso a los Estudios Universitarios en Argentina.

[8] RODRÍGUEZ, C.S.; SANTORO, M. I; RELLING, V. M; HUERGO, J; DISETTI, M.E. (2018). Evaluando Capacidades Específicas y Genéricas que aportan a las competencias del Ingeniero no químico en el curso de Química. Publicado en la página web del *Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas*. CLICAP 2018- San Rafael, Mendoza- Argentina

[9] SARDÀ JORGE, N.; SANMARTÍ PUIG, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), 405-422

[10] PLIEGO, O.H.; RODRÍGUEZ, C.S. (2012). *Introducción a la Química General para Ingenierías y Ciencias Exactas*. Rosario, Editorial Magenta

[11] RODRÍGUEZ C.S.; SANTORO, M.I.; JUÁREZ, S.M. (2014). La enseñanza explícita de un modelo de “justificación química” en la resolución de ejercicios numéricos. *Libro de actas de la IV Jornadas de la Enseñanza de la Ingeniería*, 49-54

[12] RODRÍGUEZ, C.S.; SANTORO, M.I; RELLING, V.M (2015) Competencia en la resolución de ejercicios numéricos de química. *Libro de actas de X Jornadas Nacionales y VII Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Química Universitaria, Superior, Secundaria y Técnica*.

[13] RELLING, V.M., RODRÍGUEZ, C.S., SANTORO, M.I., HUERGO, J.; IMHOFF, L. (2016). Enseñanza y evaluación de capacidades aportativas a la competencia “resolución de problemas” en la FCEIA de la UNR. *Libro de actas del III Congreso Argentino de Ingeniería y IX Congreso Argentino de Enseñanza de la Ingeniería*, 289-295

[14] RELLING, V.M.; HUERGO, J.; DISETTI, M.E.; IMHOFF, L. RODRÍGUEZ, C.S.; SANTORO, M.I. (2017). Justificar problemas numéricos de química. *Una excelente manera de detectar errores conceptuales y concepciones alternativas*. *Libro de resúmenes de las XI Jornadas de Ciencia y Técnica 2017 UNR*.