

# Congreso Internacional de **Investigación y Pedagogía**

**nuevos** ESCENARIOS  
**SUJETOS**  
**ESCUELAS** **nuevas**



**11-15**  
**OCTUBRE**  
**2021**

**Freire y la Educación Contemporánea**





## **ENSEÑANZA DE LA ELECTROQUÍMICA DESDE LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y EL TRABAJO EXPERIMENTAL**

### **Autores:**

#### **Angulo Flórez, Diego Hernando**

Docente Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación: Waira

**Correo electrónico:** [diego.angulo@uptc.edu.co](mailto:diego.angulo@uptc.edu.co)

#### **Cipagauta Esquivel, Edna Carolina**

Docente Universidad de Boyacá, Grupo de investigación: Núcleo

**Correo electrónico:** [eccipagauta@uniboyaca.edu.co](mailto:eccipagauta@uniboyaca.edu.co)

**Eje temático:** Investigación en Pedagogía y Didáctica de las Ciencias Naturales y la Educación Ambiental en el Contexto Educativo.

**Resumen:** La electroquímica constituye una rama de la química que, debido tanto a sus posibilidades de aproximación (desde la física, la matemática y la química), como a su relativa facilidad de ejecución y aplicación a nivel experimental, permite emplear múltiples estrategias de abordaje, que favorecen la enseñanza y el aprendizaje de sus temáticas propias. Es entonces la combinación e integración de las perspectivas de resolución de problemas y de trabajos prácticos, una opción didáctica que puede permitir ampliar el espectro de posibilidades de integración de conceptos químicos en electroquímica,



debido a la doble dimensión de acometida cualitativa y cuantitativa (Riza Özkaya, M. Üce y M. Sahin, 2004) de los temas asociados. La mayor parte de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias se plantea a partir de la resolución de problemas por parte de los estudiantes, por ello los problemas deben ser seleccionados y secuenciados cuidadosamente, de forma que se consiga el aprendizaje significativo (Lopes y Costa, 1996). La propuesta pretendió conciliar, armonizar y proyectar la investigación didáctica desde la resolución de problemas y los trabajos prácticos, observándose dentro de los principales resultados el cambio conceptual, la apropiación de los conceptos estructurantes más relevantes asociados al tema y el aprendizaje significativo.

**Palabras clave:** Electroquímica, ideas previas, dificultades de aprendizaje, resolución de problemas, trabajos prácticos

### **Introducción**

La electroquímica estudia la interconversión de energías química y eléctrica. Esta interconversión es lograda por el flujo de corriente eléctrica en una solución de un electrolito entre 2 electrodos conectados por la vía de un circuito externo con una carga eléctrica o con una fuente de corriente. Así, los principios básicos y las relaciones cuantitativas de sus magnitudes (voltaje, corriente, conductancia de carga, capacitancia y concentración) para los fenómenos electroquímicos fueron esclarecidos en forma empírica por Michael Faraday y otros científicos europeos antes del descubrimiento del electrón y de los desarrollos de la termodinámica química. Así, las técnicas electroanalíticas se derivan, bien sea de las consideraciones termodinámicas de la solución (potenciometría, por ejemplo) o de la difusión de iones en ella (como en la polarografía y la conductimetría). (Sawyer, D et al, 1995). Así, la electroquímica debe implicar, por un lado, los denominados "procesos iónicos" (aquellos que ocurren a iones en solución y a líquidos que se forman por fusión



de sólidos compuestos por iones) y por otro, los “procesos electródicos” (aquellos que ocurren en la región entre un conductor iónico y un conductor electrónico y que conciernen a la transferencia de cargas a su través). (Bard y Faulkner, 2001).

Con este amplio y complejo panorama, es la electroquímica una rama del conocimiento químico que se presenta como una oportunidad para visualizar y ofrecer a los profesores en formación un pool de perspectivas de abordaje, tanto desde el trabajo pedagógico teórico, en donde se incluyen la información general, la reconstrucción histórica de las situaciones y condiciones que dieron origen a sus teorías, el planteamiento de hipótesis alternativas, la ejecución de demostraciones físico-matemáticas, y también la oposición y confrontación de tesis competitivas, el planteamiento de postulados, etc., esto desde la perspectiva de resolución de problemas; así como de trabajo pedagógico experimental, que implica la reconstrucción de experimentos de base para la validación de un concepto, el desarrollo de habilidades en el manejo de procedimientos y técnicas, o la realización de experimentos ilustrativos, y también la colección y manejo de información de los datos generados por estos mismos, el diseño de nuevos experimentos que pongan a prueba o ‘refuten’ los conceptos, esto desde la modalidad de trabajos prácticos.

### **Metodología**

La propuesta fue dirigida a estudiantes de IV periodo del programa de Licenciatura en Química, de la UFSJ de Minas Gerais-Brazil; para lograr que los estudiantes tengan la posibilidad de confrontar los conceptos de electroquímica, a través de la resolución de problemas y los trabajos prácticos, se propusieron actividades teórico-prácticas para facilitar el aprendizaje de los conceptos asociados al tema. La metodología propuesta involucró tres fases: una introductoria, donde se aplican los problemas cuestiones; una segunda de



aplicación donde se presentan los problemas ejercicios, y finalmente la fase de investigación, en donde se proponen los problemas de intervención.

### **Fase introductoria**

En esta fase se aplican los problemas cuestiones, para la comprensión de los conceptos de electroquímica específicamente. Los problemas cuestiones, son aquellos que van dirigidos a la estructuración conceptual. Así, su función es la de identificar ideas previas, contextualizar y aplicar a situaciones teóricas. Las situaciones planteadas relacionan variables tales como fórmulas, leyes, unidades, también ilustran fenómenos o justifican un principio o ley, etc. En el campo de los trabajos prácticos, son situaciones cerradas.

### **Fase 1.**

Actividad 1. Invitar al estudiante a revisar algunos conceptos fundamentales de electroquímica; para ello, se sugiere resolver un test de ideas previas, a partir de los conceptos de una rejilla que se le presentan a él.

Actividad 2. Desarrollo de conceptos de electroquímica como tal. Primero lectura del artículo The Origins of Positive and Negative in Electricity, escrito por William B. Jensen, el artículo es tomado del Journal of Chemical Education Vol. 82 No. 7, July 2005; selección de los conceptos clave del artículo y análisis con respecto a otros como agente oxidante y reductor, celda, electrodo, fem, potencial de reducción y de oxidación, puente salino, semirreacción, entre otros.

Actividad 3. Los estudiantes deben consultar cómo elaborar una celda galvánica y con la ayuda del profesor, construirla en el laboratorio. Durante la práctica el estudiante debe explicar cuál es el potencial de la celda y como se aplicaría la ecuación de Nernst a la misma.

## **Fase de aplicación**

En esta fase se aplican los problemas ejercicios, que involucran los conceptos asociados a la electródica. Los problemas ejercicios, están destinados principalmente al aprendizaje y confrontación de los modelos que soportan las aplicaciones conceptuales de la electroquímica y la relación con otros campos de conocimiento. Las situaciones planteadas están centradas en problemas – tipo (tarea cerrada/respuesta cerrada; tarea abierta/respuesta cerrada), formalmente son análogos con los procedimientos de resolución ya establecidos en los problemas cuestiones, pero ahora hay un mayor número de variables implicadas en el enunciado de la tarea. En los trabajos prácticos, las situaciones para el aprendizaje implican la combinación de determinadas técnicas y destrezas de manipulación, obtención de datos, entre otros

### **Fase 2.**

#### Actividad 1.

Con base en una revisión teórica de los electrodos típicos de referencia, se sugiere que el estudiante escriba y ajuste las semirreacciones de cada uno de ellos, y determine sus potenciales de electrodo, con base en tablas de potenciales estándar de reducción.

#### Actividad 2.

Desarrollo de conceptos de electródica. Primero, lectura del artículo Student Construction of a Gel-Filled Ag/AgCl Referente Electrode for Use in a Potentiometric Titration escrito por James M. Thomas, el artículo es tomado del Journal of Chemical Education Vol. 76 No. 1, January 1999; selección de los conceptos clave del artículo, luego se aplica la metódica en el laboratorio, efectuando las variantes conforme a los recursos disponibles, y se efectúa la

determinación de potenciales experimentales y la comparación con los datos teóricos y con el valor reportado en el artículo. Se invita al estudiante a justificar o argumentar porqué los resultados son semejantes o diferentes, según sea el caso.

### **Fase de investigación**

En esta fase se aplicarán los problemas investigaciones para la solución de una situación problema (tarea abierta / respuesta abierta). Los problemas investigaciones están dirigidos a la construcción de conocimientos procedimentales y actitudes hacia la ciencia y sus métodos de trabajo. Su enseñanza se basa en la utilización de una metodología de investigación aplicable a problemas muy diversos. En el campo de los trabajos prácticos, se corresponde con una secuencia de planteamiento de problemas, generación de hipótesis, diseños experimentales y análisis de resultados obtenidos. Las situaciones que aquí se formulen desde el campo de la electroquímica deben invitar al estudiante a emplear planteamientos hipotético-deductivos, es decir deben ser situaciones en las que el estudiante razone, discuta, argumente con los conceptos que ya conoce y trabaje en términos de hipótesis y análisis de las variables que intervienen.

### **Fase 3.**

#### Actividad 1.

Se propone al estudiante diseñar la curva teórica de titulación de la titulación potenciométrica directa de Fe (II) vs. Ce (IV), con base en el conocimiento de los potenciales redox y de la ecuación de Nernst; electrodo de referencia: el fabricado por los estudiantes en la fase 2, y electrodo indicador: electrodo de Platino.



## Actividad 2.

Con base en el artículo A Student-Designed Potentiometric Titration escrito por Joyce R. Powell, Cerril A. Tucker, y William E. Acree, Jr, tomado del Journal of Chemical Education Vol. 73 No. 10, October 1996, y con el Artículo Indirect Potentiometric of Fe (III) with Ce (IV) by Gran's Method, escrito por Maria da Conceicao Silva Barreto, Luciana de Lucena Medeiros y Paulo César de Holanda Furtado, tomado del Journal of Chemical Education Vol. 78 No. 1, January 2001, se propone al estudiante diseñar una estrategia de laboratorio, para ser realizada con el electrodo fabricado y con el electrodo sensor de Platino, para realizar la titulación potenciométrica directa de Fe (II) con Ce (IV), y comparar los resultados teóricos con los experimentales, y argumentar sobre las posibles diferencias.

## Resultados

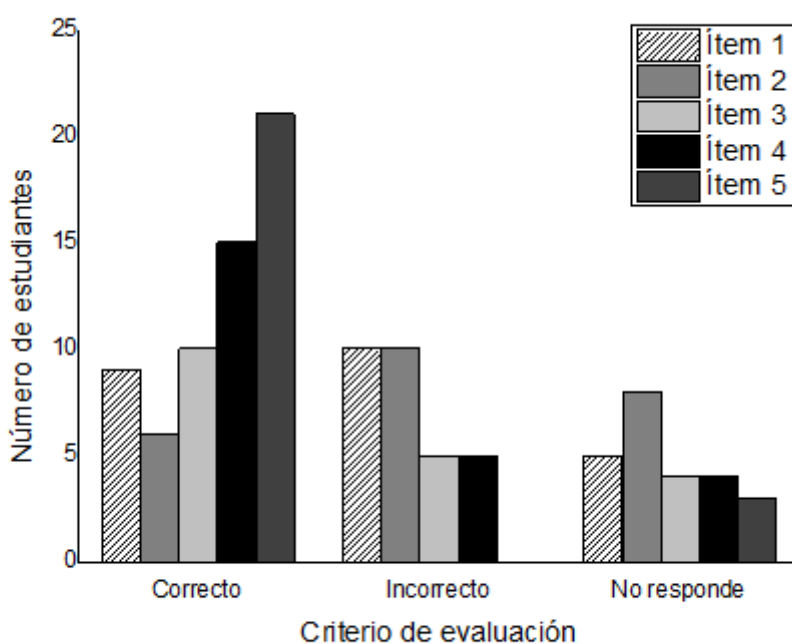
### Fase 1 (actividad 1)

En el ítem 1, nueve estudiantes refirieron que sucede en el transporte de electrones del ánodo al cátodo, diez estudiantes presentaron ideas alternativas al no tener claridad acerca del diferencial de cargas positivas y negativas, en el Ítem 2, seis estudiantes señalaron las diferencias entre un catión y un anión. Cinco estudiantes no contestaron la pregunta, mientras que diez estudiantes no supieron explicar ni definir las características de un elemento metálico y un elemento no metálico, refiriéndose más a propiedades periódicas que no definían nada de lo preguntado, en el Ítem 3, para diez estudiantes el proceso de electrolisis es el que se lleva a cabo al separar el cloro del sodio en la sal común y supieron interpretar la figura. Cinco estudiantes complementaron sus respuestas diciendo que el sodio al ser un metal tenía poder reductor. En el Ítem 4 quince estudiantes indicaron correctamente el orden en que debían





ubicar las sustancias de acuerdo a la instrucción dada, por lo que se puede afirmar que los conceptos de polaridad, fuerzas intermoleculares y alotropía están claros para la mayoría de la población muestreada. Cinco estudiantes erraron en el orden en el cual situar las sustancias. Finalmente, en el último ítem, diez estudiantes afirmaron que la oxido-reducción es un proceso que permite identificar la transferencia de electrones en función de la carga y de la masa, siendo la respuesta más apropiada debido a necesidad de mejorar la recuperación del analito, desde sus posibilidades de cuantificación en procesos electro analíticos.



**Figura 1 Resultados test de ideas previas, Fuente: los autores**



## Fase 2 (actividades 1 y 2)

Tabla 1. Valores obtenidos para los potenciales de electrodo anódicos y catódicos, con base en las corrientes de reducción, para el sistema Ag/AgCl con electrodo de referencia

Velocidad de barrido (mV/s)	Corriente anódica (I <sub>pa</sub> )/uA	Corriente catódica (I <sub>pc</sub> )/uA	Potencial anódico (E <sub>pa</sub> )/V	Potencial catódico (E <sub>pc</sub> )/V
5	2,0666	-1,1799	0,2673	0,1974
10	2,8621	-1,8605	0,2689	0,191
30	4,8851	-3,7916	0,2774	0,1859
75	7,7081	-6,3966	0,2876	0,1774
100	9,2334	-7,4069	0,291	0,174
150	11,0549	-8,9134	0,3011	0,1639
200	13,3429	-10,8548	0,307	0,1605
300	16,6214	-13,5985	0,3232	0,1571
400	19,474	-16,0053	0,33	0,1469
500	22,0483	-18,0071	0,3333	0,1402

En la tabla 1 es posible observar que un método voltamperométrico propuesto para el sistema Ag/AgCl midió la corriente en el electrodo de trabajo mientras se hace un barrido lineal (5-500 mV/s) para el calculo del potencial entre el electrodo de trabajo y el electrodo de referencia. A partir de dichos valores los estudiantes hallaron tanto la oxidación de la plata con los valores del potencial relacionandolos con los procesos del paso de los electrones del anodo al catodo junto a la reducción del analito (AgCl) lo cual permitió calcular la concentración del mismo mediante su potencial catodico registrados como un pico en la señal (figura 2), en el potencial al cual la especie comienza a oxidarse (ion cloruro Cl<sup>-</sup>) o reducirse (ion plata Ag<sup>+</sup>)

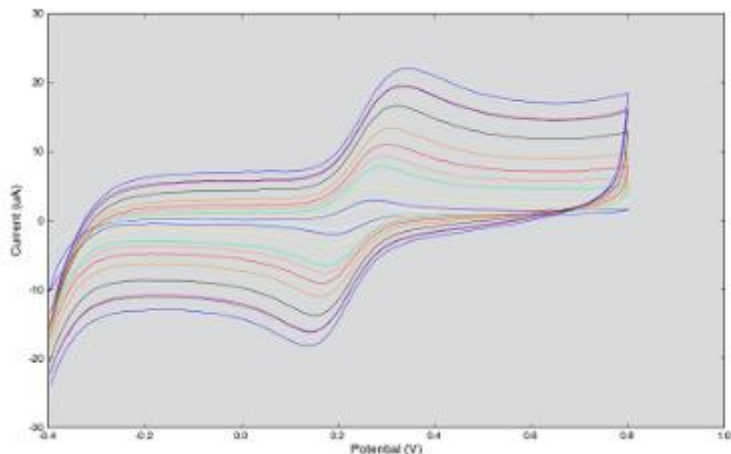


Figura 2 Voltamperograma que relaciona la corriente y el potencial para el sistema Ag/AgCl, Fuente: los autores

En las figura 2, a modo ilustrativo, se muestran las voltametrías cíclicas realizadas en las mismas condiciones (concentración y velocidad de barrido) y con las que se pretendió ilustrar la variabilidad que existe entre los distintos electrodos. Además, estas gráficas también determinaron cual será el potencial más óptimo para la realización de los ensayos sucesivos con la plata y con la sal. Como se muestra en la Figura 2, en las que se han hecho los voltamogramas con tres repeticiones, el sistema es muy sensible al material usado en el electrodo de trabajo. Además, analizando la figuras, se aprecia que los valles de reducción son los más difíciles de obtener. Los resultados del sistema Ag/AgCl muestran correctamente esos valles, para los electrodos de carbono fabricados por los estudiantes que son los electrodos no comerciales creados y manufacturados por ellos mismos. Sin embargo, dichos electrodos tienen una variabilidad más alta que los electrodos de DS-110, pero al ser los comerciales más caros, se busca desde estos tipos de trabajos acercar al estudiante con metodos voltamperometricos



### Fase 3 actividad 1

Tabla 2. Datos experimentales (concentración y porcentaje de analitos a partir de volúmenes consumidos de titulante)

Réplica	Volúmenes consumidos de titulante.		Concentración (M) experimental de iones en solución B		% Fe con electrodo fabricado	% Ce con electrodo fabricado
	V <sub>1</sub> (ml)	V <sub>2</sub> (ml)	[Fe <sup>3+</sup> ]	[Ce <sup>4+</sup> ]		
1	10,9	3,8	7,1*10 <sup>-3</sup>	3,8*10 <sup>-3</sup>	64,44	35,48
2	11,1	3,9	7,2*10 <sup>-3</sup>	3,9*10 <sup>-3</sup>	65,35	36,12
3	10,7	3,7	7,0*10 <sup>-3</sup>	3,7*10 <sup>-3</sup>	63,54	34,55

En la tabla 2 se muestran los volúmenes gastados de titulante (EDTA) en cada una de los dos volúmenes de equivalencia (V1 y V2) para el triplicado de la experiencia, se puede observar que los volúmenes de EDTA gastado en cada procedimiento son similares, asumiendo un buen manejo de materiales y metodologías. Por otro lado, la experiencia fue exitosa en la medida que los volúmenes consumidos fueron similares a aquellos esperados, con base en los cálculos y en la estequiometría de la reacción de titulación <V1 (mL) 10,9 mL y V2 (mL) 3,8 mL>.

Además se muestran las concentraciones y los porcentajes de Fe y Ce determinados en las 3 experiencias con los electrodos fabricados por los estudiantes, se puede observar una muy favorable coincidencia con los registros teóricos que proponen el empleo de electrodo de platino. Se puede afirmar que la valoración potenciométrica arrojó resultados confiables, al menos teóricamente, en comparación con estudios de voltamperometría y complexometría con este tipo de propuestas



### Fase 3 actividad 2

Finalmente, la última actividad del estudio encuadrada en la construcción y comparación de la curva de calibración para la medida más relevante de estos sistemas que es la corriente para un sistema de ferrocianato y de cesio, y que está basada en las medidas anteriores a esta última fase. Esta curva representa la corriente en función de la concentración a un potencial fijo. Esto permitió a los estudiantes de la población objetivo determinar cuál es la corriente de estabilización en ese nivel de concentración específica para cada punto. El potencial se fija mediante el promedio de potenciales de oxidación o reducción hallados por las voltametrías cíclicas a distintas concentraciones. Adicionalmente, para asegurar que la reacción se produce totalmente, se le añade, ácido clorhídrico 0,1M para mantener la oxidación (controlando el pH) en el caso de presentarse una precipitación del ion  $Ce^{4+}$ , agregar NaOH 0,05M para mantener el equilibrio en la reducción, para fijar el margen de seguridad al promedio del potencial en el intervalo dado.

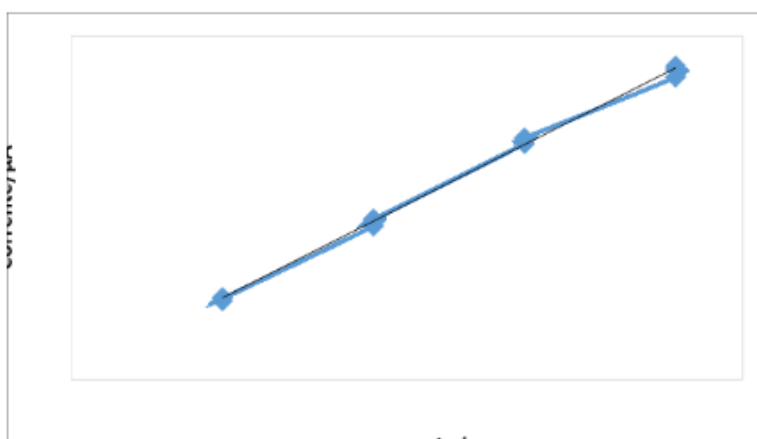
En esta última fase del ensayo, se realizaron las relaciones entre la corriente y la concentración al potencial anteriormente hallado más su desviación estándar, así se asegura en todos los casos la oxidación del sustrato, que en este caso es el ion  $Fe^{3+}$  en este caso los estudiantes debían comparar el comportamiento teórico con el comportamiento experimental. Durante este ensayo, los estudiantes consiguieron encontrar una relación y a la vista de los resultados obtenidos en la tabla 2, dicha relación debería ser de tipo lineal entre la corriente de estabilización y la concentración (Figura 3).

Como se esperaba por los datos arrojados en la Figura 3, se ha hallado una relación lineal entre la concentración del sistema y la corriente de estabilización, (mostrada en la Figura 2) de la sustancia usada tal como se muestra de forma resumida en la Tabla 2. Adicionalmente a la Figura 3, la Figura 4 es una curva



realizada mediante el cálculo de las medidas que cada estudiante hizo en las mismas condiciones de ensayo pero desde una perspectiva teórica antes de la realización de este proyecto. Como se puede comprobar, existen unas divergencias entre ambas, por lo que se deberían hacer más pruebas para determinar de dónde proviene el fallo ya que proviene de una degradación de los iones de ferrocianato, una degradación del cesio o bien del propio proceso experimental.

Sin embargo, existen varios datos relevantes que indican que la medida realizada por los estudiantes desde la visión de la ecuación de la recta y el dato estadístico de R2 la elaboración de la curva y la implementación de la Fase hace aportes didácticos apropiados. La pendiente positiva, el valor de dicha pendiente y el paso a valores semejantes de corriente son comunes en las dos gráficas mencionadas en el párrafo anterior, lo cual permite realizar acercamientos entre los valores teóricos y los valores experimentales



**Figura 3. Curva de calibración experimental que relaciona la corriente y la concentración para el sistema  $\text{Fe}^{3+}/\text{Ce}^{4+}/\text{CN}^-$ , Fuente: los autores**

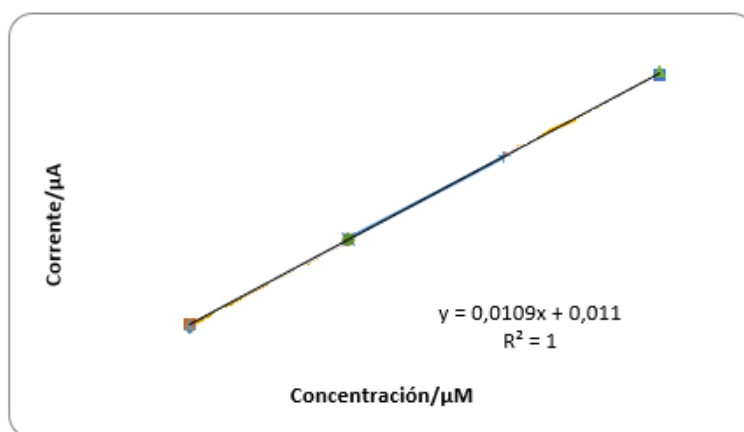


Figura 4. Curva de calibración teórica que relaciona la corriente y la concentración para el sistema  $\text{Fe}^{3+}/\text{Ce}^{4+}/\text{CN}^-$ , Fuente: los autores

## Conclusiones

En este trabajo, se desarrolló un método para la enseñanza de la electroquímica desde la resolución de problemas y el trabajo experimental empleando sistemas electroquímicos, celdas de semirreacciones y métodos voltamperométricos los cuales relacionaban conceptos estructurantes como lo son electrodos, corriente, potencial, ecuaciones redox entre otros. Como la propuesta estaba estructurada en tres fases, durante el desarrollo de cada una de ellas se recogió información a manera de evaluación diagnóstica y/o formativa. Así mismo el empleo de instrumentos (pruebas de ideas previas, solución de cada situación planteada, solución de cada actividad, etc.) que se emplearon para recabar información y de esta manera compilar la información relevante para las secuencias didácticas como insumos para la creación de propuestas que generen cambios conceptuales y propendan por alcanzar el aprendizaje significativo. Finalmente al preguntar a los estudiantes para que mencionaran los aspectos positivos y negativos encontrados durante el

desarrollo del tema de electroquímica a partir del empleo de la resolución de problemas y los trabajos prácticos respecto a su enseñanza.

El implementar esta propuesta de investigación supone por parte del profesor innovar en su práctica docente, y por parte del estudiante, participar activamente en la construcción de su aprendizaje, para con ello conocer y reconocer el uso y significado de los conceptos químicos asociados a tópicos de electroquímica, ampliando sus referentes conceptuales. Se evidencia que a través de la resolución de los problemas y los problemas prácticos formulados se despierta la curiosidad y se fomenta el espíritu crítico y la capacidad de trabajo en equipo. Por otro lado, la inserción de técnicas de análisis químico en escenarios escolares, pero estructuradas desde la resolución de problemas permitieron a los estudiantes potenciar procesos cognitivos de alto orden, debido a la necesidad del estudiante de desarrollar un trabajo experimental bajo un contexto problemático específico.

A través de los trabajos prácticos de laboratorio se promovió la adquisición de habilidades para métodos electro analíticos y voltamperométricos para asociar la cuantificación de iones, con el potencial electrónico y la corriente. Teniendo en cuenta las ideas previas de los estudiantes y en comparación a los trabajos experimentales realizados, se concluye que hubo un cambio conceptual significativo en lo tocante a la diferenciación entre corriente y potencial. Realizando la comparación entre las ideas previas y la evaluación final del proceso en el cual se desarrolló este trabajo, se evidenció que el estudiante se familiarizó y amplió su conocimiento disciplinar al apropiarse de "nuevos métodos" de cuantificación de iones metálicos como lo son los métodos voltamperométricos, electro analíticos y potenciométricos, permitiendo un aumento significativo en el lenguaje químico, así como en la comprensión de conceptos estructurantes para su buen desempeño como profesional de la química.



No se evidenció una aproximación clara por parte de los estudiantes en relacionar los métodos que relacionan la complexometría con un contexto particular, pero si se obtuvieron resultados favorables en la práctica en donde se requerían procesos cognitivos de bajo orden en tópicos químico-matemáticos para el análisis estadístico de gráficos y la construcción de curvas de calibrado; por otra parte, en la práctica de nivel de complejo, se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que se requerían procesos cognitivos de alto orden para la elaboración de electrodos de carbono. Dados los resultados favorables que se tuvieron en la práctica con procesos cognitivos de alto orden, es imperativo la proyección e implementación de prácticas como la desarrollada ya que estas estrategias de intervención puesto que favorecen en redimensionar el papel del profesor en el sentido de hacerlo más activo, en la medida que acompaña y guía permanentemente el proceso experimental lo cual redundará en la adquisición de habilidades procedimentales necesarias para las dinámicas de enseñanza y aprendizaje.

### **Referentes Bibliográficos**

Acar Burcin and Tarhan. 2007. Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. *Internacional Journal of Science and Mathematics Education*. (5). Pp. 349 – 373.

Allsop, R. T. and George, N. H. 1982. Redox in nuffield advanced chemistry. *Education in Chemistry*. (19). Pp 57 – 59.

Bard, A y Faulkner, L. 2001. *Electrochemical Methods. Fundamentals and applications*. Ed. John Wiley and sons. Pp. 1-6, 87-137, y 138-155



Barral, F.L., Fernández, E.G. y Otero, J. R. G. 1992. Secondary students interpretations of the process occurring in an electrochemical cell. *Journal of Chemical Education*. (69). Pp. 655 – 657.

Bernal John D. 1981. *La ciencia en la historia*. Editorial Nueva Imagen. Universidad Autónoma de México. Quinta edición. Pp. 576 – 591.

Birss, V y Truax, D. 1990. An effective approach to teaching electrochemistry. *Journal of Chemical Education*. 67. Pp. 403-409.

Bockris and Reddy. 1978. *Electroquímica Moderna*. Volumen 1. Editorial Reverte, Barcelona-España. Pp. 1 – 46.

Bodner, G. M. 1986. Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*. 63. Pp. 873 – 878.

Caballer María de Jesús y Oñorbe, Ana. 1997. Resolución de problemas y actividades de laboratorio. En la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria. *Compilación*. Editorial ICE/HORSORI. Primera edición. Barcelona. Pp. 107 – 131.

Campanario, Juan Miguel y Moya, Aida. 1999. ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (2). Pp. 179 – 192.

Carretero, Mario. 1997. *Construir y enseñar las ciencias experimentales*. AIQUE Grupo Editor S.A. Argentina Segunda Edición.

Chalmers, A.F. 1982 *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* (Siglo XXI: Madrid).

De Jong Onno. 2000 *Crossing the borders: Chemical education research and teaching practice*. *University chemistry education*. Netherlands 4 (1). Pp. 31-33



Del Carmen, Luis. 2000. Los trabajos prácticos. En Didáctica de las ciencias experimentales. Francisco Javier Perales Palacios, compilador. Marfil ALCOY. España. pp.267 - 287

Dole, J. A., and Niederhauser, D. S. 1990. Student's level of commitment to their naive conceptions and their conceptual change learning from texts. In J. Zutell and McCormick, Ed., literacy theory and research: Analyses from multiple paradigms. Chicago: National Reading Conference.

Eybe Holger and Fürgen Schmidt Hans (2001) Quality criteria and exemplary papers in chemistry education research. International Journal of Science Education. 23 (2). Pp. 209 – 225.

Furió, C. Y Gil. D. 1989. La didáctica de las ciencias en formación inicial: una orientación y un programa teóricamente fundamentado. Enseñanza de las Ciencias, 7(3). Pp. 257 – 265.

Gabel, D. 2000. Theory-Based Teaching Strategies for Conceptual Understanding of Chemistry, Educación Química, 11 (2). Pp. 236 – 243.

Garriz Ruiz Andoni. 2000. De ideas previas y enseñanza de la química. Educación Química, segunda época. 11 (2). Pp. 211-212.

Gedik Ebru, Geban Ömer, Ertepinar Hamide, and Ceylan Eren. 2003. Facilitating conceptual change in electrochemistry using conceptual change approach. Middle East Technical University, Faculty of Education, Department of Secondary. Science and Mathematics Education, 06531-Ankara, Turkey. Pp. 1-3

Gil, D. 1994. Diez años de investigación en Didáctica de las Ciencias: realizaciones y perspectivas. Enseñanza de las Ciencias. 12 (2). Pp. 154 – 164.



Guzzetti, B. J., Synder, T. E., Glass, G. V., and Gamas, W. S. 1993. Meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education to overcome misconceptions. *Reading Research Quarterly*. 28. Pp. 116 – 159.

Hackling, M. W., and Garnett, F. J. 1985. Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*. 72 (2). Pp. 205 – 214.

Harris C. Daniel. 2005. *Exploring Chemical Análisis*. W. H. Freeman and Company. 3th Edition. New York. Pp. 286-373

Jensen William B. 2005 The Origins of Positive and Negative in Electricity. *Journal of Chemical Education*. 82 (7). Pp. 988

Jensen, William B. 1998. Logic, History, and the Chemistry Textbook. *Journal of Chemical Education*. 75 (8). Pp. 679-687

López, B. y Costa, N. 1996. Modelo de enseñanza-aprendizaje centrado en la resolución de problemas: Fundamentación, presentación e implicaciones educativas. *Enseñanza de las Ciencias*. 14. Pp. 45 – 61.

Niaz Mansoor. 2002. Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. *International Journal of Science Education*. 24 (4). Pp. 425 – 439.

Nurrenbern, S. C. y Pickering, M. 1987. Concept learning versus problem solutions: Is there a difference?. *Journal of Chemical Education*. 64 (6). Pp. 508-510.



Perales, F. y Cañal De León, P. 2000. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Ed. Marfil. Pp. 15 – 20, 47-48

Polya, G. 1945. How to solve it. Traducción al Castellano: Cómo plantear y resolver problemas. New York. University Press.. México Trillas.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., and Gertzog, W. A. 1982. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science Education. 66 (2). Pp. 211 – 227.

Riza Özkaya, A; Üce M; y Sahin, M. 2004. Conceptual understanding of electricity: Galvanic cells. Chemistry Education Research and Practice. 8 (1). Pp. 24-29

Riza Özkaya Ali. 2002. Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry: Half-Cell Potential, Cell Potential, and Chemical and Electrochemical Equilibrium in Galvanic Cells. Journal of Chemical Education . 79 (6). Pp. 735-738

Sawyer, D; Sobkowiak, A; y RobertS. 1995. Electrochemistry for Chemists. Second edition; Wiley Interscience; John Wiley and sons. New York. Pp 1-9, 442-444.

Smit, J. J. A.; Finegold, M. 1995. Models in Physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at South African Universities. International of Journal in Science Education. 17. Pp. 621 – 634.

Thorley, N.R., and Stofflett, R.T. 1996. Representation of the conceptual change model in science teacher education. Science Education. 80 (3). Pp. 317 – 339.



Toulmin, S. 1977. La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid: Alianza.

Treagust, D., Duit, R. and Nieswandt, M. 2000. Sources on students' difficulties in learning chemistry. Educación Química. 11 (2). Pp. 228 – 235.

Vasini, Enrique Julio y Donati, Edgardo Rubén. 2001. Uso de analogías adecuadas como recurso didáctico para la comprensión de los fenómenos electroquímicos en el nivel universitario inicial. Enseñanza de las Ciencias. 19 (3). Pp. 471 – 477.

Wulfsberg, Gary. 2000. Inorganic Chemistry. University Science Books. Sausalito, California. Pp. 244-245 y 339-340.

#### RECURSOS ELECTRÓNICOS

Borden Mary Ellen. 1997. Chemistry is Electric. The Chemical Heritage Foundation. Philadelphia.  
<<<http://mx.geocities.com/electroquimika/qai1/paperlena1.pdf>>>. Fecha de consulta: Octubre 29 de 2020

Casas Mateus, J et al. 2006. Buffer redox: una aproximación didáctica a su concepto.<<<http://www.fcn.unp.edu.ar/publicaciones/jornadasdequimica/publicaciones/TC27.pdf>>>. Fecha de consulta: Noviembre 1 de 2020

Federation of European Chemical Societies. Division of Electrochemistry. 1999. EurocurriculumElectrochemistry.  
<<<http://www.euchems.org/Divisions/Electrochemistry/>>>. Fecha de consulta: Octubre 29 de 2020