

El constructivismo y la química analítica del profesor Gaston Charlot

Margarita Rosa Gómez-Moliné,¹ Alberto Rojas-Hernández,² María Teresa Ramírez-Silva²

ABSTRACT (Constructivism and Analytical Chemistry of Professor Gaston Charlot)

The structure of analytical chemistry designed by Prof. Gaston Charlot in France, about 1940, begins with a very simple model of chemical reaction, understood as a process in which a donor gives only one kind of particles to an acceptor. When this model is assimilated by the student then the study of chemical reactions that exchange two or more type of particles is presented. Gradually the model incorporates the study of more and more complex reactions and processes, as precipitation, redox, non aqueous solvents, and separations, among others. This approach permits to plan and resolve complex problems of analytical and industrial chemistry. In the present work we show the analogies of the analytical chemistry proposed by G. Charlot and the principles of constructivism applied nowadays to the teaching of sciences.

KEYWORDS: Constructivism, Analytical Chemistry, Charlot

Introducción

La enseñanza del análisis cualitativo y cuantitativo que se impartía en los años 50 en la Escuela de Química Universidad Nacional Autónoma de México, en Tacuba, fue muy interesante y motivadora porque se aprendía a identificar elementos químicos y algunos compuestos basándose en la marcha de Bunsen, a manipular tubos de ensaye, aparatos para sulfhidrar, a filtrar, a secar y a calcinar. También se aprendía a disolver muestras y a poner crisoles y pesafiltros a peso constante, entre otras muchas otras manipulaciones, que son útiles en la vida profesional. Algunos estudiantes eran felices durante tardes enteras durante nueve meses en el laboratorio de análisis cualitativo y otros tantos en el de análisis cuantitativo, observando la formación de precipitados de hermosos colores y de reacciones inesperadas, imprevisibles para ellos. Esto permitía comprender, finalmente, que la formación de nuevas sustancias depende de la capacidad que se adquiere para seleccionar los reactivos y las condiciones más adecuadas de reacción.

Pero este tipo de enseñanza, ¿capacita para diseñar un nuevo método de identificación o cuantificación de un elemento desconocido, en un medio distinto del indicado en la receta? Cuando se trata de innovar, de responder a nuevos retos, no se

puede depender únicamente de la enseñanza descriptiva y memorística, que en México se conoce como tradicional.

La labor de un químico analítico, hoy en día, se enfoca a resolver los problemas que se presentan cada vez con una complejidad mayor: identificación y cuantificación de trazas cada vez más débiles de una enorme cantidad de elementos y compuestos, en medios cada vez más diversos y más difíciles de separar.

Hay que proponer, diseñar, predecir y valerse de otros conocimientos, pero ¿cómo?

Para el aprendizaje, ¿cuál es el valor del punto de vista práctico que trata de acumular conocimientos particulares sin relacionarlos con conocimientos generales?

Durante años no hubo cambios significativos en los libros de análisis químico, presentaban recetas cada vez con mayores detalles que el estudiante tenía que memorizar.

A fines del siglo XIX, W. Ostwald demostró que no son las recetas sino los principios, los conceptos, las leyes y los modelos de la química (sobre los cuales reposan los análisis), los únicos capaces de hacer del análisis químico una ciencia clara y lógica (Urbain, 1912).

El Profesor Gaston Charlot, en los años 40, basándose en las ideas de Ostwald, Kolthoff, Lingane, Furman y sobre todo en las de Brønsted y Lowry, desarrolló una metodología de enseñanza de la química analítica basada en conceptos químicos fundamentales y sus relaciones, para plantear y resolver problemas de química (Charlot, 1966).

Objetivo

Este trabajo pretende mostrar las analogías entre el método de estudio de la Química Analítica propuesto por G. Charlot y las teorías del constructivismo que actualmente se consideran como aquellas que ofrecen mayores posibilidades para la enseñanza de las ciencias.

¹ Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Departamento de Ciencias Químicas. Sección de Química General.

² Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Departamento de Química. Área de Química Analítica. San Rafael Atlixco 186. Col. Vicentina. CP. 09340 México, D.F. México.

Recibido: 2 de agosto 2007; **aceptado:** 8 de julio de 2008.

La evolución de los modelos de enseñanza de las ciencias: el constructivismo

Durante el siglo XX la enseñanza de las ciencias ha ido adaptándose a las necesidades de la sociedad (Jiménez, 1992). Así, desde el modelo de *transmisión-recepción* (o tradicional) que consiste en la transmisión verbal de conocimientos ya elaborados, tras pasados a la mente del alumno a través de descripciones orales o escritas, pasando por el modelo *conductivista* (a veces mejor conocido como conductista), basado en la definición clara de objetivos a alcanzar para preparar más investigadores y más tecnólogos, sin tomar en cuenta su desarrollo mental, hasta llegar al modelo de descubrimiento, el cual parte de la premisa de que imitando el método científico, el alumno podría no sólo asimilar los contenidos sino también convertirse en un científico. Por otra parte, desde los años 70 vienen desarrollándose las *teorías constructivistas*, que conciben el aprendizaje como una construcción activa de saberes significativos y son las que actualmente se piensa que ofrecen posibilidades más atractivas para la didáctica de las ciencias y se adaptan mejor a los objetivos propuestos por la sociedad. Nos referimos a un constructivismo psicológico y educativo, no a las teorías sociales sobre el mismo, cuya diferencia queda aclarada en el artículo de Bernal (2006).

En el constructivismo convergen las teorías de Piaget, Ausubel, Vygotski y otros más, así como la de generación de esquemas (procesamiento de la información). Pero cuando en este trabajo se emplea el término constructivista no se refiere tanto a las investigaciones sobre cómo los estudiantes desarrollan su pensamiento en abstracto sino cómo se aprenden determinadas materias y contenidos.

Existen dos principios básicos en los que converge el pensamiento constructivista (Gómez y Sanmartí, 1996):

- 1) La idea de que el pensamiento es activo en la construcción del conocimiento; es decir, que el aprendizaje es más una consecuencia de la actividad mental del que aprende, que una acumulación de informes y procedimientos.
- 2) La idea de que los conceptos son inventados más que descubiertos; es decir, el que aprende construye formas propias de ver y explicar el mundo, cosa diferente de pensar que a través de su actividad redescubre los conceptos y teorías propias de la ciencia actual.

Para la enseñanza constructivista es preciso que el estudiante se compenetre con el problema y vaya conjugando sus ideas previas y los informes y procedimientos para desarrollar una actividad mental que le permita hacer suyos nuevos conceptos de forma significativa y personal. Se distingue de la enseñanza tradicional en que acepta que los modelos con que se explica la ciencia no son únicos ni impercederos, sino que cada estudioso los revalora y reconstruye de acuerdo con sus propias observaciones y a nuevas evidencias experimentales.

A partir de estos conceptos y modelos se resuelven nuevos problemas de acuerdo con sus propias características. Esto es, no se aplica una receta única, buena para todo.

Digamos que para construir un edificio, se debe conocer

las leyes y recomendaciones propias de la ingeniería para aplicarlas a nuevas y diferentes construcciones, pues se requiere elaborar planos y procedimientos de acuerdo a cada caso particular: según la altura que se pretenda alcanzar para el edificio se requieren cimientos adecuados, según el suelo en que la construcción se va a apoyar se requieren distintos materiales, etcétera.

En la enseñanza de las ciencias y de la química en particular se ha visto que hay que construir el conocimiento analizando las ideas previas y las concepciones alternativas del estudiante y sobre éstas mostrar los razonamientos en que se basa la ciencia química para llegar a leyes y modelos. Estos razonamientos deductivos permiten al estudiante cimentar sólida y significativamente los conceptos sobre los cuales podrá agregar poco a poco conceptos más elaborados y complejos.

El modelo de enseñanza de la Química Analítica propuesto por el Profesor Charlot

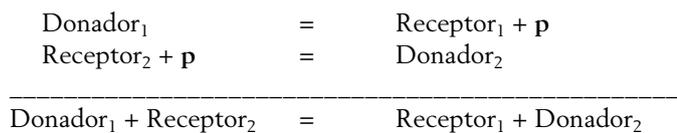
Después de la Segunda Guerra Mundial, Francia requirió de una intensa investigación en química analítica para apoyar el desarrollo de la energía nuclear. Fue preciso formar un equipo de químicos capaces de contribuir a diseñar los procesos de identificación y separación de isótopos a nivel industrial y llevar a cabo los análisis químicos no convencionales de los productos químicos resultado de las pruebas nucleares, con la precisión y exactitud necesarias para apoyar el desarrollo francés de la postguerra (Trémillon, 1998).

Fue necesario rediseñar la enseñanza del análisis químico, analizar y justificar los temas básicos para construir el andamiaje del estudio de la nueva Química Analítica en forma lógica y secuenciada. La estructuración de una enseñanza con bases sólidas que permitiera ir más allá de las recetas aprendidas de memoria era imprescindible, ya que se trataba con nuevos compuestos de los que no existían precedentes. Este fue el fruto paciente de muchos años que el Profesor Charlot nos heredó su paralelismo con el constructivismo educativo puede deberse a que ambos, el Profesor Charlot y el constructivismo, persiguen fines semejantes: que el estudiante aprenda a aprender, que aprenda a pensar.

La estructura de la nueva Química Analítica se fundamenta en conceptos, algoritmos, modelos y metodologías estudiados en química general los cuales, adecuadamente relacionados, llevan al estudiante a construir su propio conocimiento para resolver los problemas inherentes a las reacciones químicas en disolución, la optimización de procesos, la innovación de métodos, etc.; sea a nivel del laboratorio de análisis químico o de la química industrial.

El conocimiento de la reacción y el equilibrio químico en disolución no es sencillo. Por esta razón el Profesor Charlot empieza con el estudio individual de las reacciones elementales de intercambio de partícula con fines didácticos: empezar con lo más simple para luego combinar los tipos de reacciones y alcanzar lo más complejo. Esto es, tomar el problema como un todo y dividirlo en sus partes componentes, para entonces reconstruir con ellas el todo y, a través de sus relaciones, resolver el problema.

Para ejemplificar la metodología se utilizará el ejemplo de los sistemas multicomponentes y multirreaccionantes, en disolución acuosa. Con las reacciones más sencillas, como aquellas en las que sólo se intercambia una partícula, con iones con los que el alumno está familiarizado (como Fe^{2+} , Fe^{3+} , CH_3COO^- , NH_4^+) se lleva al alumno a comprender un modelo general, muy simple, que se adapta a varios tipos de reacciones:



donde **p** representa cualquier partícula que posee el donador.

El Profesor Charlot se dio cuenta de que este sencillo esquema podía unificar otros similares, como el propuesto independientemente por Brønsted y Lowry para reacciones que intercambian protones, o como el presentado por Brinkley (1925), Jette *et al.* (1925, 1927), Lochte (1927), Hall (1929) y Hazlehurst (1940) para las reacciones de oxidorreducción (o redox, donde la partícula intercambiada es el electrón); también podía aplicarse a las reacciones de complejación (que Charlot llamaba reacciones de intercambio de iones y moléculas polares, y que ahora se conocen como reacciones de la química de coordinación, donde generalmente un catión puede aceptar partículas iónicas, como el cloruro, o moléculas neutras, como el amoníaco).

Charlot no sólo extendió y unificó estos esquemas, sino que sistematizó el esquema de intercambio de partícula como nadie antes lo había hecho, con la incorporación de nuevos elementos didácticos y de conceptos fundamentales para el desarrollo del estudio de la química de las disoluciones.

Así, a partir de constantes termodinámicas se enseña a calcular a los alumnos las constantes de equilibrio para reacciones en medio acuoso. El estudiante dispone de la información necesaria reportada en la literatura en tablas de constantes de disociación ácido-base, de potenciales estándar o de constantes de formación de complejos, para cada par donador/receptor, con los que puede construir y emplear escalas que permiten la predicción de reacciones principales y secundarias, así como determinar la concentración de cada reactivo cuando se alcanza el equilibrio. Esto permite evaluar la cuantitatividad de las reacciones químicas así como definir cuándo una reacción puede ser útil para emplearse en métodos de análisis químico.

La misma estrategia se aplica a reacciones ácido-base, redox y complejos. Si estos tres tipos de reacciones se manejan al nivel deseado, se puede ampliar el estudio introduciendo el tema de solubilidad y precipitación ya que la constante del producto de solubilidad es también una constante termodinámica que permite calcular y predecir cuándo se va a formar un precipitado y cuándo se va a disolver, qué componentes quedan en solución y en qué concentraciones. También es posible abarcar el estudio de los equilibrios de reparto entre fases, tales como la extracción líquido-líquido y el intercambio iónico.

Sin embargo, en sistemas reales en disolución este modelo puede resultar demasiado simplificado porque en ellos, de acuerdo con el modelo propuesto, puede haber fenómenos que involucran dos o más tipos de reacciones de intercambio de partículas (que es lo más frecuente), que se influyen mutuamente y cuya importancia relativa depende de las condiciones del medio en que se llevan a cabo los procesos químicos. Por lo tanto, después de que se han comprendido las reacciones en las que se intercambia un sólo tipo de partículas, el Profesor Charlot introduce el estudio de intercambio de dos o más partículas, por ejemplo: electrones y protones, electrones y ligandos, precipitación y acidez, etcétera.

Para poder estudiar cuantitativamente el intercambio simultáneo de varias partículas, mediante el conocimiento de constantes termodinámicas y potenciales redox publicados en la literatura, se muestra a los estudiantes cómo se pueden calcular constantes y potenciales aparentes (como las llamaba el Profesor Charlot, ahora mejor conocidas como constantes condicionales), que incorporan la acción de las diferentes partículas sobre las propiedades del sistema. De esta forma es posible saber cómo los potenciales redox son modificados por la acción de diferentes valores de pH, cómo las constantes de disociación son afectadas por la presencia de una reacción de precipitación, cómo la constante de precipitación es modificada por la presencia de un ligando o acomplejante, etcétera.

Queda, como en el ajedrez, aprender y ejercitar las reglas del juego y, cuando se conocen bien dichas reglas y las posibilidades de cada pieza, el número de jugadas es casi infinito. Queda también analizarlas y valorarlas para una aplicación concreta.

Así, en la nueva Química Analítica (propuesta por el profesor Charlot) se pueden estudiar miles de reacciones, primero prediciendo su posibilidad, calculando su constante de equilibrio, su cuantitatividad, y la concentración de productos, reactivos y especies secundarias al equilibrio, así como las combinaciones de los diferentes tipos de equilibrios cuando es necesario. La aplicación de este enfoque de las reacciones y equilibrios químicos en disolución permite no sólo la comprensión de los métodos de análisis existentes y el desarrollo de nuevos métodos, sino también la comprensión de diversos procesos empleados en la industria química.

Por lo tanto, los estudiantes que gustan de razonar y no gustan del empirismo, que desean instruirse y comprender los conceptos y ver sus posibilidades, disponen de argumentos para arriesgarse a planear y discutir sus propuestas. ¿Acaso no es más deseable formar estudiantes con un espíritu más profundo y propositivo que estudiantes con un espíritu dócil, limitado y listo para almacenar conocimientos?

Con los mismos modelos y esquemas se puede ampliar el campo de acción de la Química Analítica: así en el estudio de las reacciones electrolíticas se definieron los parámetros que permiten predecir, provocar o impedir una reacción y se llegó a sistematizar los métodos electroquímicos de análisis, logrando presentar en forma lógica las titulaciones potenciométricas y amperométricas, y los métodos de análisis polarográficos.

Esta sistematización se aplica también a la electroquímica preparativa, particularmente en las sales fundidas y a la electroquímica orgánica.

Otra área beneficiada fue el estudio de reacciones en distintos disolventes. Así como se construyen y emplean escalas para predecir reacciones en medio acuoso se construyen y emplean igualmente para elaborar escalas de acidez o de potenciales que permiten predecir las reacciones en medios no acuosos: disolventes orgánicos, mezclas de disolventes y sales fundidas.

Estos estudios también se aplicaron a la cromatografía en fase líquida y sobre todo para procesos industriales de separación en tierras raras, extracción de galio, germanio, uranio, plutonio, la refinación electrolítica de varios metales (Rojas, 1990) y el estudio exhaustivo de procesos electroquímicos industriales para mejorar su rendimiento.

Según Rosset (1994) el Profesor Charlot defendió toda su vida que la formación en Química Analítica permitía ir mucho más lejos que la realización de un método de análisis que, por muy validado y preciso que fuera, queda en el ámbito del análisis químico. El prestigio de los métodos de enseñanza propuestos por el Profesor Charlot se ganó, sobre todo, por sus desarrollos al aplicarse a la Química Industrial.

Paralelismos entre el constructivismo y la enseñanza de la Química Analítica propuesta por el Profesor Charlot

A continuación se presenta un análisis de algunos de los puntos que permiten afirmar que la propuesta didáctica del Profesor Charlot para la enseñanza de la Química Analítica es fundamentalmente constructivista. El ejemplo considerado está relacionado con los conceptos de ácidos fuertes o débiles en el modelo de Brønsted y Lowry.

En la tabla 1 se establecen algunos paralelismos acerca de algunas afirmaciones, según la orientación constructivista formulada por Driver (1986), y la enseñanza de la Química Analítica que desarrolló el profesor Charlot desde los años 40 (1940).

Con la finalidad de ejemplificar algunas de las afirmaciones que se hacen en la tabla 1, se puede considerar la reacción del ácido clorhídrico con hidróxido de sodio.

Con los conocimientos previos el alumno representaría la reacción de la siguiente forma



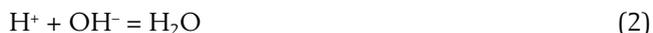
Cuando se tiene el HCl en agua (antes de adicionar NaOH), ¿cuál es el pH de la solución? y ¿cómo se calcula?

Tabla 1. Paralelismos entre las propuestas de Driver (constructivismo) y Charlot (para al enseñanza de la Química Analítica).

Driver (1986)	Charlot (1940, 1943, 1957, 1971)
Los estudiantes tienen ya sus propias ideas explicativas respecto a los fenómenos físicos y químicos antes de empezar a estudiar ciencias, lo que implica encontrar las ideas anteriores del alumno y determinar las relaciones necesarias entre lo que se va a enseñar y lo que sabe el alumno.	Ejemplifica las reacciones con especies químicas conocidas por los alumnos, como son los iones Fe^{2+} o Sn^{2+} , o con moléculas, tales como el ácido acético o el amoníaco. También parte de conocimientos estudiados por ellos en Química General, tales como las concentraciones molares y el equilibrio químico en disolución. De esta manera recurre al conocimiento previo de los alumnos en el tema e inicia una exploración general de los conceptos que manejan.
El alumno debe ser el protagonista de su propio aprendizaje y esto se manifiesta en su toma de conciencia de la existencia de un conflicto cognitivo y confrontar el cambio conceptual.	Inicia los cuestionamientos proponiendo, por ejemplo: —Cuando se introducen moléculas en el agua, ¿qué sucede con ellas? —¿Qué sucede cuando sustancias iónicas, como el NaCl, se disuelven en el agua? —¿Qué sucede cuando sustancias no iónicas, como el azúcar, se disuelven en el agua? —¿Cuál es el papel del disolvente en la disolución de las sustancias? —¿Cómo se representan las reacciones que suceden en solución acuosa? —¿Cómo saber si una reacción ocurre mucho, poco o nada? —¿Puede haber sistemas donde ocurran varias reacciones simultáneamente?
El cambio conceptual nunca se produce desde una situación en la cual un fenómeno tiene sentido, hacia otra que no lo tenga. Una nueva teoría se formará por reestructuración de la teoría previa y deberá superarla en cuanto a las posibilidades que ofrece de establecer nuevas y mejores relaciones entre ideas.	Este tipo de preguntas enfrentan al alumno a sus conocimientos previos que no resuelven cualquier situación, puesto que en este caso saben que el cloruro de sodio se disuelve en iones en solución acuosa, y que el azúcar no, pero las reacciones que ellos están acostumbrados a escribir siempre se representan en forma no iónica, por lo tanto no siempre corresponde su modelo a la situación real. Esto provoca que el alumno entre en crisis y sea perceptivo para construir, con el tiempo, explicaciones alternativas y conceptos nuevos que incluya en su saber para explicar las nuevas situaciones a las cuales se enfrenta.
	Propone un modelo de Brønsted generalizado (Donador/Anfolitos/Receptor/Partícula) para las reacciones en disolución, con equilibrios químicos en solución acuosa considerando la ionización y el intercambio de partículas. Extiende y generaliza el concepto de dismutación, lo que permite predecir la estabilidad y el predominio de los anfolitos. Recuerda que la termodinámica ofrece la información necesaria de las constantes de equilibrio para calcular las concentraciones al equilibrio de todas las especies en solución (iónicas o no iónicas). Éstos son algunos de los cambios conceptuales que ofrecen al alumno las herramientas para resolver los cuestionamientos previos.

Se tiene que partir de la representación iónica de las especies en solución, ya que es la concentración de ión hidronio, $[H^+]$, la que permite calcular el pH.

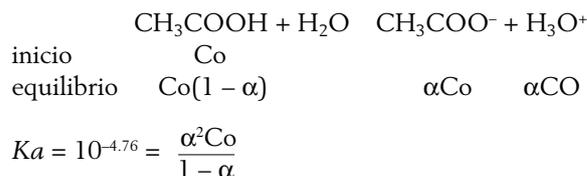
Sin embargo, como son electrolitos, una representación más adecuada de la realidad en solución acuosa sería:



En esta representación no aparecen explícitamente el Na^+ y el Cl^- (ya que estarían en ambos miembros de la ecuación química) porque son iones indiferentes o espectadores que no tienen ninguna participación en la reacción y, por lo tanto, no tiene caso escribirlos. Es así que la ecuación (2) representaría a todas aquellas reacciones en las que se tiene un ácido y una base que son electrolitos fuertes; por ejemplo, el ácido nítrico o el ácido perclórico con el hidróxido de litio o el hidróxido de potasio, entre otras posibilidades, ya que todos ellos pueden considerarse como ácidos o bases fuertes en disoluciones acuosas relativamente concentradas (del orden de 1 M).

Cuando se trata de ácidos débiles o poco disociados la concentración de la molécula de ácido no corresponde a la concentración de H^+ en solución. Por lo tanto, el pH no se puede calcular directamente a partir de la concentración del ácido sino que depende del porcentaje de disociación del ácido.

Para resolver el problema del progreso de la reacción se tienen que analizar los equilibrios iónicos de los sistemas en solución acuosa. Por ejemplo, ¿qué tanto se ioniza el ácido acético en agua? Para contestar esta pregunta se recurre a la termodinámica y en la literatura se busca el valor de la constante de acidez de este equilibrio a la temperatura y a la fuerza iónica adecuadas (25°C y 0.1 M, por ejemplo). Posteriormente se establece la condición de equilibrio, que en el método del Profesor Charlot implica el establecimiento de la tabla de concentraciones molares en el equilibrio, que se muestra a continuación:



Si se considera una concentración inicial $Co = 0.1M$, al equilibrio se tendría que $Co(1 - \alpha) = 0.0987M$ y $\alpha Co = 0.0013M$. Si se calcula ahora la fracción disociada en esa disolución acuosa se tendría un porcentaje de disociación de 1.3%. Lo que en general se sabe del ácido acético es que es un ácido que se disocia poco, si arbitrariamente se considera que menos de un 3% o un 5% corresponde a un porcentaje de disociación pequeña.

Si ahora se considera una concentración inicial $Co = 0.0005M$, al equilibrio se tendría $Co(1 - \alpha) = 0.00042$ y $\alpha Co = 0.00008$. Calculando ahora la fracción disociada se tendría un porcentaje de disociación de 17%, lo que indica que está bastante más ionizado que a una concentración inicial mayor. Esto lleva a concluir que el avance del proceso de ionización depende de la concentración inicial y no sólo del valor de la constante de acidez Ka . Aunque establecida por Ostwald en el siglo XIX y retomada por Charlot hacia 1940, esta conclusión no se establece en muchos libros actuales, que la ignoran o no le dan la importancia que merece. Conociendo la fracción ionizada se puede calcular el pH con mayor rigor.

Sin embargo, ni la propuesta de Driver ni la del Profesor Charlot terminan en la tabla 1, ejemplificadas en el ejemplo anterior. El aprendizaje debe trascender y llevar al estudiante a proponer respuestas y soluciones a nuevas situaciones y problemas, basado en la estructuración del conocimiento que ha logrado en las fases anteriores del aprendizaje.

Es por eso que en la tabla 2 se presenta un paralelismo, que hemos calificado de trascendente, entre las propuestas de Driver y de Charlot.

Los ejemplos anteriores permiten ver algunas de las analogías entre el constructivismo y el método didáctico del Profe-

Tabla 2. Paralelismo trascendente entre la propuesta de Driver y el modelo de enseñanza de la Química Analítica del Profesor Charlot.

Driver (1986)	Charlot (1940, 1943, 1957, 1971)
Encontrar los significados y conceptos que haya generado el que aprende, ya que a partir de ellos se van a determinar las formas en que él mismo construya nuevos significados y conceptos que le sean de utilidad.	Como se mostró al final del punto anterior, en este sistema de enseñanza el alumno aprende a distinguir entre un ácido fuerte y un ácido débil, y a aplicar las simplificaciones que se requieren en cada caso para calcular el pH en cada punto de una valoración, lo cual, posteriormente, le permite interpretar las curvas obtenidas potenciométricamente. Pero no sólo eso, también se le enseña a utilizar las constantes de equilibrio para cualquier reacción, lo que le permitirá conocer la cuantitatividad de cada una de ellas y disponer de este dato para seleccionar una reacción de acuerdo con su aplicación analítica o industrial, o bien para modificarla, cambiando los reactivos, indicadores, instrumentos, etc., de acuerdo con cada caso particular. A partir de la comprobación y por lo tanto de la concordancia entre los resultados experimentales y los datos calculados con la teoría el estudiante aprende a predecir el comportamiento de los sistemas y a simular las propiedades fisicoquímicas de los sistemas reaccionantes en disolución, así como las valoraciones de nuevos compuestos químicos a partir de algunas propiedades fisicoquímicas fundamentales, tales como factores de respuesta y constantes de equilibrio. Esto puede llegar aun al caso en que los esquemas de reacción y métodos desarrollados para explicar el comportamiento de las soluciones acuosas se extrapole a otros disolventes, como el etanol, el dimetilsulfóxido y el acetonitrilo.

Tabla 3. Resumen de las analogías entre el constructivismo y el modelo de enseñanza de la Química Analítica propuesto por el Profesor Charlot.

<i>La orientación constructivista formulada por Driver (1986)</i>	<i>El modelo propuesto por el Profesor Charlot (1940, 1943, 1957, 1971)</i>
El aprendizaje es una actividad mental del que aprende construyendo formas propias de ver y explicar el mundo. El aprendizaje activo de significados supone una secuencia de situaciones de equilibrio y de desequilibrio o de conflicto cognitivo.	El estudiante tiene que apropiarse significativamente de los nuevos conceptos para poder seguir con las "reglas del juego", para lo cual se le proporcionan las condiciones, las reglas y las constantes con las cuales debe predecir y cuantificar las reacciones y seleccionar las que son apropiadas para la determinación que requiere.
Hallar los puntos de vista alternativos del alumno y proveerle de material, de tal forma que quede estimulado para reconsiderar o modificar tales puntos de vista y pueda encontrar sentido para establecer relaciones.	Las clases teóricas van acompañadas de experiencias de cátedra y de prácticas cualitativas. Las escalas para predecir la posibilidad de una reacción y el cálculo de constantes de equilibrio proporcionan al estudiante argumentos para un cambio conceptual.
El cambio conceptual nunca se produce desde una situación en la cual un fenómeno tiene sentido, hacia otra que no lo tenga. Una nueva teoría se formará por reestructuración de la teoría previa y deberá superarla en cuanto a las posibilidades que ofrece de establecer nuevas y mejores relaciones entre ideas.	El alumno puede cambiar una forma de aprendizaje o una teoría por otra que le proporcione argumentos y datos para ampliar sus conocimientos o explicar el porqué de las indicaciones de ciertos métodos o recetas.
Encontrar los significados y conceptos que haya generado el que aprende, ya que a partir de ellos se van a determinar las formas de que él mismo genere nuevos significados y conceptos que le sean de utilidad.	Se parte de un sistema muy sencillo y de unas reglas que permiten seleccionar los cálculos y procedimientos para aplicarlos a nuevas tecnologías o resolver problemas a partir de la identificación de nuevos parámetros.

son Charlot para la enseñanza de la Química Analítica. Algunos aspectos más generales de estas analogías se resumen en la tabla 3. Cabe aclarar que estas analogías pueden ser ilustradas con muchos más ejemplos que se encuentran conforme el modelo avanza en variedad (sistemas redox, de complejación, de precipitación y de reparto entre fases) y complejidad de los casos (intercambio simultáneo de varias partículas en sistemas multifásicos).

Conclusiones

La metodología propuesta por el Profesor Charlot en la década de los años 40 del siglo XX, como se ha discutido en este trabajo, fue revolucionaria, en tanto que pretendía que los estudiantes desarrollaran habilidades del pensamiento que les permitieran proponer soluciones a problemas de análisis químico o mejoras a procesos industriales, más que la aplicación de técnicas y métodos conocidos a problemas concretos de análisis químico. Pensamos que los paralelismos ilustrados en el trabajo entre esta metodología de enseñanza de la Química Analítica y el constructivismo hayan sido suficientes para demostrar el porqué muchos pensamos que el Profesor Charlot, sin querer y sin saberlo, fue precursor en la aplicación del constructivismo en la didáctica de las ciencias.

Agradecimiento

Los autores queremos agradecer a los árbitros por sus comentarios al presente artículo.

Referencias

Bernal, P., Addressing the Philosophical Confusion Regarding Constructivism in Chemical Education, *Journal of Chemical Education*, 83(2), 324-326, 2006.
 Brinkley, S., *Journal of Chemical Education*, 2(7), 576, 1925.
 Charlot, G., *Nouvelle méthode d'analyse qualitative*. Paris: Masson et Cie, 1942.

Charlot, G., *Nouvelle méthode d'analyse quantitative*. Paris: Presses documentaires, 1943.
 Charlot, G., *L'analyse qualitative et les réactions en solution*. Paris: Masson et Cie, 1957.
 Charlot, G., *Le développement de la Chimie Analytique en France*. Institut National des Sciences et Techniques Nucleaires. Paris CNRS, 1966.
 Charlot, G., *Química Analítica General: Soluciones acuosas y no acuosas*. Barcelona: Toray-Masson, 1971.
 Driver, R., y Oldham, V., A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science, *Studies in Science Education*, 13, 105-22, 1986.
 Gómez Moliné M.R. y Sanmartí, N., La didáctica de las ciencias una necesidad, *Educ. quim.*, 7(3), 156-168, 1996.
 Hall, W., *Journal of Chemical Education*, 6(3), 479, 1929.
 Hazlehurst, T., *Journal of Chemical Education*, 17(10), 466, 1940.
 Jette, E., *Journal of Chemical Education*, 4(5), 685, 1925.
 Jette, E. y La Mer, V., *Journal of Chemical Education*, 4(7), 1021, 1927.
 Jiménez, M.P., *Análisis de modelos didácticos*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, 1992.
 Lochte, H.L., *Journal of Chemical Education*, 4(2), 223, 1927.
 Rojas, A., *Bases teóricas de los métodos de separación en Química Analítica*. Simposio Gaston Charlot. Oaxtepec Morelos, 1990.
 Rosset, R. In memoriam, *Analisis Magazine*, 22(8) 48-50, 1994.
 Trémillon, B., *La Formation Moderne de l'Analyste*. Institut National des Sciences et Techniques Nucleaires. Paris: CNRS, 1966.
 Trémillon, B., Homenaje a Gastón Charlot, *Educ. quim.*, 9(2), 67-72, 1998.
 Urbain G., Préface. En Treadwell, F.P., *Chimie Analytique*. Paris: H. Dunod y E. Pinat, 1912.