

Descripción de experiencias innovadoras para el trabajo experimental, gráfico, teórico o tecnológico y para la resolución de problemas.

Elementos del aprendizaje experimental basado en un problema para la enseñanza superior en Físicoquímica

*Aurora Ramos Mejía y Joaquín Palacios Alquisira**

Abstract (Physical chemistry problem based learning laboratory environment, an undergraduate approach)

It is well accepted that the development and implementation of good working methods in the undergraduate physical chemistry laboratories is imperative since the integration of concepts and abilities are appropriate teaching aims for our professional practices. Actually the laboratory sessions are more active, exploratory and flexible with an approach that takes in consideration the natural complexities of the subject.

In this paper we present the elements of practical problem based learning (student, problem, tutor) as a triangle, where we discuss their characteristics and establish a way of relation to each other. Also, we intent to show that the laboratory work based on a problem learning approach with a constructivist point of view, properly supports and satisfies our teaching objectives in physical chemistry.

Introducción

En las últimas décadas, se ha criticado el aprendizaje tradicional porque no desarrolla las condiciones de dominio profesional. Los cambios sociales, económicos y tecnológicos están transformando los requisitos para ser competitivo. Ser un profesional en estos días supone un conocimiento experto de cómo usar la tecnología, ser comunicativo, trabajar en equipo o grupo, y ser un especialista en un campo de conocimiento. Este aumento en los requerimientos profesionales no sólo influencia los programas de entrenamiento en las empresas, sino también las expectativas formuladas para la educación superior. Dentro de los objetivos primordiales en educación se espera que los egresados tengan ciertos conocimientos base pero que también adquieran habilida-

des de pensamiento y resolución de problemas. Sin embargo, diversos estudios indican que en las formas de enseñanza tradicional los estudiantes adquieren conocimiento inerte. Es decir, tienen el conocimiento, pero no saben cómo aplicarlo en problemas de la vida cotidiana.

Por otro lado existe una tendencia generalizada en diferentes universidades del mundo que sugiere que no sólo debe cambiarse la forma de enseñar Físicoquímica, sino que deben revisarse los contenidos, y más aún, el enfoque o visualización global de los mismos. Para alcanzar estas finalidades, Vilches y Furió (1999) plantean que se contemplen tres clases de objetivos y contenidos en el currículo: a) objetivos y contenidos conceptuales, es decir, conocimientos científico-técnicos necesarios para que las personas puedan desenvolverse en un mundo como el actual; b) objetivos y contenidos procedimentales, que permitan aprender lo que es la disciplina de estudio y cómo se trabaja para razonar y resolver los problemas que ésta puede contribuir a resolver; y c) objetivos actitudinales con un fuerte contenido motivacional, donde se introduzca una dimensión "afectiva" que incentive el interés por la disciplina, su aprendizaje, y promueva una actitud crítica por la actividad científica.

Dentro de la tarea experimental es evidente la importancia que adquiere el contenido procedimental, por lo que en este trabajo nos planteamos revisar la didáctica específica aplicada a la enseñanza experimental basada en un problema. Proponemos desglosar los elementos que constituyen al aprendizaje basado en un problema (PBL, problem based learning), haciendo una descripción de cada uno de ellos y estableciendo sus interrelaciones. Intentaremos mostrar que el aprendizaje basado en un problema (Domin, 1999b; Gallet, 1998; Ram, 1999; Green y colaboradores, 2004) aplicado a la enseñanza práctica, desde el punto de vista constructivista (Shiland, 1999), satisface los objetivos de la educación superior. Es decir, además de que los egresados adquieran ciertos conocimientos base relacionados con la actividad disciplinar particular, que en este caso es la Físicoquímica, también adquieran habilidades de

* Departamento de Físicoquímica, Facultad de Química UNAM.

Recibido: 5 de diciembre de 2005; **aceptado:** 5 de enero de 2007.

pensamiento y resolución de problemas. Así pues, esperamos que los estudiantes aprendan a investigar mediante un programa de PBL, desarrollando su capacidad de análisis, de selección de información, de síntesis, dirección y liderazgo. Esperamos que este acercamiento fomente la adquisición de valores y actitudes científicas, en particular para que aprendan a trabajar en equipo de forma colaborativa. Que puedan construir afirmaciones científicas y justificar dichas afirmaciones, presentando sus resultados frente a una comunidad de pares, y que sean capaces de evaluar dichos resultados en función de una hipótesis experimental que ellos mismos han planteado. Finalmente, esperamos promover en los estudiantes el desarrollo del pensamiento crítico para resolver problemas reales en Físicoquímica.

Por otro lado, como en el laboratorio PBL la resolución de problemas es independiente de la secuencia programada para el temario de los contenidos conceptuales de la asignatura, se crea un ambiente de aprendizaje independiente de las clases de teoría, y por lo tanto los estudiantes podrán dar un reconocimiento al valor intrínseco del trabajo experimental.

Antecedentes

Del laboratorio tradicional al laboratorio constructivista

La discusión acerca de la enseñanza experimental es un tema actual y sin resolver. De acuerdo con una revisión realizada por Nakhleh, Polles y Malina (2004), las posturas generales hacia el trabajo de laboratorio son básicamente tres:

- 1) El laboratorio es valioso y debe ser revisado.
- 2) El laboratorio no tiene valor y debe ser eliminado.
- 3) No se sabe realmente lo que el trabajo de laboratorio hace o puede hacer.

De acuerdo con estos investigadores, parece ser hora de un cambio del engañoso y supuestamente sencillo diseño de investigación de experimento/control que se concentra en los logros o algún tipo de registro mensurable, a un diseño más abierto, exploratorio y más adecuado para hacer frente a las complejidades del ambiente de laboratorio.

Existen dos razones por las cuales el laboratorio tradicional o de exposición no alcanza todo su potencial (Domin, 1999b): los estudiantes gastan más tiempo y esfuerzo determinando si obtuvieron las respuestas “correctas”, que en los principios aplica-

dos, no hay un aprendizaje significativo; por otro lado, las actividades del laboratorio tradicional están diseñadas para desarrollar habilidades cognitivas de bajo nivel. Esto es, las principales metas que persigue este tipo de enseñanza se podrían resumir en: conocer, comprender y aplicar (Domin, 1999a).

Retomando los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales de Vilches y Furió (1999), los modelos de enseñanza que fomentan la integración del conocimiento disciplinar, haciendo énfasis en la motivación, pero que también involucran el desarrollo de habilidades académicas personales transferibles y genéricas, están basados en la visión constructivista del aprendizaje, dejando de lado los modelos de transmisión tradicional del conocimiento. La visión constructivista propone que “el aprendizaje es un proceso de construcción activa. Dicho proceso resulta en un cambio cualitativo de entendimiento” (Prawat, 1996). También se puede decir que “el conocimiento es construido activamente por individuos o comunidades sociales” (Tynjälä, 1999). Los estudiantes no son recipientes pasivos de información, sino que construyen activamente su conocimiento y habilidades a través de la interacción con el ambiente y mediante la reorganización de sus propias estructuras mentales. De acuerdo con Shiland (1999), la idea de que “el conocimiento es construido en la mente del aprendiz”, se puede desglosar en cinco postulados del constructivismo, que tendrán diferentes implicaciones en el trabajo de laboratorio:

1. El aprendizaje requiere actividad mental, que el individuo piense en y para qué está estudiando algo.
2. Las concepciones alternativas que el individuo ha construido para explicar el mundo afectan el aprendizaje.
3. El aprendizaje ocurre por insatisfacción con el conocimiento actual. Si no hay una *motivación* para el cambio, éste no ocurre.
4. El aprendizaje tiene un componente social. En un ambiente de grupos cooperativos, se fomenta la comunicación y clarificación de ideas.
5. El aprendizaje necesita aplicación. De esta manera se valora la trascendencia personal y social del conocimiento adquirido.

Este modelo constructivista ha llevado a desarrollar e implantar los llamados ambientes de aprendizaje poderosos (De Corte, 1990). A partir de éstos se han instrumentado diferentes acercamientos educacionales, como son: aprendizaje basado en problemas

(PBL), aprendizaje basado en proyectos y aprendizaje basado en casos.

En este contexto de enseñanza constructivista, el eje de acción es el aprendizaje del estudiante, y la enseñanza se define como “favorecedora del aprendizaje” (Dochy y colaboradores, 2005). Ésta no es más una transmisión de conocimientos, sino que sirve de soporte a los estudiantes para que construyan de manera activa el conocimiento mediante la asignación de tareas que favorezcan este proceso. El conocimiento previo del aprendiz, sus creencias y preconcepciones son importantes porque él construye nuevo conocimiento a partir del ya existente. El punto de inicio de un proceso de aprendizaje es el planteamiento de problemas auténticos, de tal manera que el aprendizaje se contextualiza y adquiere una dimensión afectiva, que involucra al alumno y lo motiva. La evaluación no es una actividad separada, exclusivamente ejecutada al final del curso, sino que se integra en el mismo proceso de aprendizaje. Dicha evaluación se centra en tareas auténticas y toma en cuenta las habilidades individuales, las orientaciones y las metacogniciones del aprendiz. Finalmente, ésta no sólo es realizada por el tutor, sino que el estudiante toma parte activa y se responsabiliza de su propio aprendizaje.

El aprendizaje basado en un problema (PBL), un acercamiento educacional constructivista

Como ya se dijo antes, el aprendizaje basado en un problema es un acercamiento educacional del modelo constructivista.

De acuerdo con Hofstein y Lunetta (2004), las actividades bien diseñadas de un laboratorio de enseñanza por indagación,¹ proveen oportunidades de aprendizaje que ayudan a los estudiantes a adquirir habilidades de alto nivel cognitivo, como son: aprender a investigar, construir afirmaciones científicas, y a justificar dichas afirmaciones en una comunidad de pares investigadores en el salón de clase en contacto con una comunidad científica más experta. Dichas habilidades son revisadas a través de la evaluación

¹ La enseñanza por indagación y el aprendizaje basado en un problema son dos estilos de enseñanza experimental diferentes, pero tienen en común que ambos requieren que los alumnos generen un procedimiento experimental para responder una serie de preguntas y de hipótesis que ellos mismos se plantean en el transcurso de un problema. La descripción de cada estilo de enseñanza experimental puede revisarse en Domin(1999b).

de los procedimientos generados por los estudiantes. De acuerdo con Domin (1999b), estas habilidades de alto nivel cognitivo también se adquieren a través del PBL. Proponer un método que resulte fructífero en la solución de problemas reales, como a los que se enfrentarán los estudiantes en su vida profesional, parece ser un instrumento didáctico potencialmente exitoso desde el punto de vista motivacional.

Dochy y colaboradores (2005) definen el aprendizaje basado en un problema como aquel que está centrado en los estudiantes. Ellos construyen de manera activa y cooperativa su aprendizaje basándose en las metas que se formulan. Esto ocurre en grupos pequeños de estudiantes mediante la participación y negociación de información y conocimiento. El tutor (profesor) es el facilitador del proceso de aprendizaje, no es el transmisor de conocimiento, sólo estimula las discusiones de grupo y monitorea el proceso. El punto de inicio para el aprendizaje son las tareas del problema,² la pregunta o el rompecabezas que los aprendices quieren resolver. Los estudiantes construyen problemas auténticos a partir de su conocimiento previo. Estos nuevos problemas se usan como instrumentos para identificar el conocimiento y las habilidades requeridas para resolver el problema planteado inicialmente por el tutor.

Elementos del aprendizaje basado en un problema

Se puede decir que son tres los elementos que intervienen en el ambiente de aprendizaje basado en un problema:

- a) el estudiante
- b) el profesor, o tutor
- c) el problema planteado.

² De acuerdo con Pozo y Gómez (1998) existe una confusión en la definición de “problema”, ya que en muchas ocasiones se llama así a lo que es un simple ejercicio. Ellos sugieren una clasificación en problemas cualitativos, problemas cuantitativos y pequeñas investigaciones, que puede ser útil para desarrollar determinados objetivos. Definen problemas cualitativos como “aquellos que el alumno puede resolver por medio de razonamientos teóricos, sin necesidad de recurrir a cálculos numéricos o manipulaciones experimentales”; problemas cuantitativos como aquellos en los que “el alumno debe manipular datos numéricos y trabajar con ellos para alcanzar una solución, tanto si ésta es numérica como si no lo es”; y pequeñas investigaciones a “aquellos problemas en los que se plantea al alumno una pregunta cuya respuesta requiere necesariamente de un trabajo práctico”. Es en el contexto de la última definición que nosotros proponemos utilizar el concepto de problema.

Cada actor ocupa una posición importante frente a los otros dos y su interacción produce un equilibrio estable, donde cada elemento es fundamental para el logro de las metas del aprendizaje.

A continuación describiremos cada uno de estos elementos.

El problema

Considerando las definiciones que con respecto al trabajo experimental han planteado Leite y Figueiroa (2004),³ nosotros definimos el problema de la enseñanza experimental como:

Proyecto de trabajo experimental que, mediante investigaciones, pueda incorporar conceptos importantes de diferentes disciplinas, con contenidos conceptuales y procedimentales significativos para el estudiante, y con un importante contenido motivacional. El resultado está predeterminado, implica una aproximación deductiva al objeto de estudio y está basado en un procedimiento experimental que genera el estudiante. El profesor adopta una postura activa haciendo preguntas, suministrando los materiales necesarios, y conduciendo a los estudiantes de manera cuidadosa e incentivadora a la resolución exitosa del problema (Domin, 1999b). Se hace énfasis en desarrollar una hipótesis de trabajo experimental verificable, a partir de la información que los propios estudiantes han colectado, y no en obtener resultados numéricos correctos. Se involucran habilidades cognitivas de alto nivel que deben revisarse a través de la evaluación de los procedimientos generados por los estudiantes.

El problema es planteado inicialmente por el tutor a partir de una pregunta; sin embargo, son los estudiantes los que determinan cuál es el interés que les hace significativa dicha pregunta, de tal manera que reelaboran el problema de acuerdo con sus propias experiencias y lo ponen en contexto a partir

de sus propias habilidades y conocimientos. De esta manera, el problema puede derivar en una serie de problemas más específicos y básicos, o por decirlo de otra forma, en diferentes tareas del problema que hay que realizar para poder resolver el problema general.

Ejemplo

Un ejemplo que ilustra el planteamiento del problema, a través de una pregunta, es el siguiente: ¿Cuál es el tiempo de vida de anaquel de una pintura base agua?

En principio, hay que reconocer que una pintura base agua es una emulsión. Estas emulsiones se emplean como recubrimiento, es decir, como una película protectora para uso doméstico. Este problema presenta una situación real, ya que el alumno se ha encontrado alguna vez con botes de pintura en los que su contenido muestra una separación clara en dos fases, la emulsión se ha roto y, por tanto, ya no se puede usar el producto. Su vida media de anaquel se ha rebasado.

Para contestar la pregunta el alumno debe identificar alguna área de los conocimientos adquiridos con anterioridad que le sea útil para entender mejor el problema. Cuáles son los conceptos básicos en los cuales se puede apoyar para situar el problema en un contexto fisicoquímico real. Entonces le será posible identificar al objeto de estudio: sistema emulsión polímero-agua.

Enseguida, debe reconocer las variables que controlan la estabilidad de una emulsión. Después las ordena por categoría de acuerdo con las condiciones que se seleccionen para situar al sistema en estudio. En este momento el alumno introduce nuevas preguntas, son preguntas laterales o complementarias como:

- ¿Cuál es el efecto de la temperatura sobre la estabilidad de la emulsión?
- ¿Cómo se mide la temperatura en una emulsión?
- ¿Cuál es el intervalo de temperatura de trabajo, o sea, temperaturas a las cuales se almacena el producto en planta, en depósitos de distribución y en la tienda de venta al público?

Dichas preguntas son producto de la insatisfacción propia de los alumnos con respecto a las ideas que están desarrollando, de tal forma que las planteadas anteriormente son sólo ilustrativas, ya que en el transcurso de una sesión real los alumnos tendrán muchas preguntas que pueden o no parecerse a éstas.

³ *Investigaciones:* Actividades de resolución de problemas que pueden llevarse a cabo mediante equipamientos de laboratorio, de campo, o de otros recursos (computadoras, biblioteca, etcétera), y que pueden ser de tipo experimental, o no experimental.

Trabajo experimental: incluye cualquier actividad en la que se da control y manipulación de variables, lo que puede tener lugar en contextos de laboratorio o de campo, pero también puede darse en ambientes multimedia. De este modo, solamente una parte de las actividades de laboratorio será de tipo experimental, y sólo algunas de éstas serán investigaciones experimentales.

Se puede apreciar que el problema original puede dividirse en otros más sencillos y directos, cuya solución proporciona información útil que los estudiantes van poniendo en contexto de acuerdo con las experiencias previas de su vida cotidiana.

El paso de presentación-discusión del problema se hace en grupos cooperativos guiados por el profesor, quien los conduce poco a poco al planteamiento de una o varias hipótesis experimentales. Sin embargo, se debe recalcar que son los alumnos quienes proponen la hipótesis experimental, no el profesor.

A partir de las metas conceptuales, procedimentales y actitudinales que se desean para los estudiantes, el tutor plantea los requerimientos básicos que éstos deben saber, deben hacer, y deben evaluar para abordar el problema. El profesor puede crear algún instrumento didáctico, como un cuestionario previo o una demostración experimental no explicada con anterioridad, que genere en los alumnos una actividad mental que ponga en conflicto sus concepciones alternativas y que los lleven a reconocer la necesidad de entender de otra manera, o de una mejor manera, lo que saben acerca de las pinturas y su estabilidad. En este caso particular se podría mostrar un recipiente transparente con pintura que ya se ha separado en dos fases, y se podría pedir al alumno que explicara cómo y por qué sucedió dicha separación.

El alumno tiene que identificar en el problema original, todas las tareas del problema, es decir, la subdivisión en preguntas más específicas, sencillas, parciales y básicas que, desde su punto de vista, son fundamentales para resolverlo. Esta subdivisión es producto de los antecedentes disciplinares y procedimentales que posea, de tal forma que es muy particular. El trabajo del profesor consiste en ir contrastando todas las propuestas planteadas por el grupo, hasta confluir en una que las englobe y las satisfaga. Es evidente que, aunque el problema original es el mismo para todos los grupos cooperativos, las inquietudes personales dirigen las preguntas básicas o tareas del problema que irán constituyendo la hipótesis planteada por cada grupo, y por lo tanto, todas pueden ser distintas.

La hipótesis de trabajo se presenta en dos formas: de una manera conceptual, tomando los principios de la ciencia básica, como la termodinámica; y de manera operacional, a partir de una investigación simultánea en la literatura científica para conocer cuáles son las pruebas estandarizadas que se pueden emplear para medir la estabilidad de las emulsiones polímero-agua.

Así pues, un ejemplo aleatorio de hipótesis experimental podría ser: “el aumento en la temperatura produce una desestabilización en los sistemas de emulsión acrílica base agua”. Aquí se reconoce a la variable temperatura como parte del marco de modelos que la termodinámica provee, se hace una afirmación falseable en términos de una variable que puede ser medida y que daría información acerca de la estabilidad de la emulsión. Dicha hipótesis da lugar al planteamiento de un desarrollo experimental que compruebe la afirmación, que lleve al alumno a buscar en la literatura lo que sea relevante tanto para su puesta en marcha como para su desarrollo y verificación. Sin embargo, como se observa, todavía no se ha respondido la pregunta original. Hace falta seguir trabajando. Lo importante aquí, es dejar que sean los alumnos los que propongan, de acuerdo con lo que les interesa poner en claro, de tal forma que la actividad les resulte atractiva y pueda significar algo en su construcción del conocimiento.

Es importante señalar que la verificación de las hipótesis aceptadas debe incluir equipos y técnicas analíticas disponibles en el laboratorio ya que de no hacerlo así, las actividades de los grupos tomarán más tiempo que el previsto en el programa, con imponderables como el manejo de las muestras y transporte a otro laboratorio.

Como se ve, el trabajo experimental del tipo PBL requiere de una gran cantidad de tiempo dedicado a un solo problema; sin embargo, esto más que una desventaja es una oportunidad para que los alumnos realmente investiguen cosas que les interesan, que les produzcan entusiasmo por las actividades, que les den la posibilidad de reflexionar y de internalizar toda la experiencia y de que se den cuenta que la actividad científica no tiene que ver con la búsqueda de una respuesta correcta. Esto puede generar en ellos un aprendizaje significativo.

El estudiante

El siguiente elemento dentro de nuestro modelo de estudio es el alumno. El PBL requiere del estudiante una actitud activa, busca un comportamiento independiente de estudio. Se transfiere la responsabilidad a los alumnos acerca de su propio proceso de aprendizaje. Ellos son responsables de la búsqueda de sus materiales de estudio. Tienen que decidir si el material es relevante. Tienen que buscar su patrón de estudio. Deciden si necesitan información extra cuando no entienden algo.

De acuerdo con las fases del entrenamiento

procedimental señaladas por Pozo y Gómez (1998), los estudiantes deben pasar de la fase de entrenamiento a la fase de estrategia. En la primera se proporcionan instrucciones detalladas de la secuencia de acciones que deben realizarse, esto es, debe existir la práctica repetitiva necesaria para que el alumno automatice la secuencia de acciones que debe realizar, supervisando su ejecución. Este tipo de prácticas son comunes en los laboratorios de enseñanza tradicional, de tal manera que los estudiantes resultan en excelentes ejecutores de procedimientos, pero sólo adquieren habilidades de bajo nivel cognitivo. En la segunda, se enfrenta al alumno a situaciones cada vez más novedosas y abiertas, de tal forma que se ve obligado a asumir cada vez más decisiones. Se promueve la autonomía en la planificación, supervisión y evaluación de la aplicación de sus procedimientos. De esta manera se adquieren habilidades de mayor nivel cognitivo y se da una transferencia del control, del profesor al alumno. Así también, se responsabiliza al estudiante por su propio aprendizaje.

Es importante destacar que, para que el PBL sea exitoso, los estudiantes deben haber adquirido las habilidades señaladas en la fase de entrenamiento, por lo que sigue siendo importante realizar todas las actividades propuestas por esta fase. Esto puede lograrse a partir del reconocimiento del propio estudiante de sus deficiencias en manejo de equipos y técnicas. De esta manera, el entrenamiento sería una de las tareas del problema.

Como ya se dijo antes, el aprendizaje tiene un componente social. En el PBL se forman equipos pequeños de alumnos que deberán trabajar en forma colaborativa. En un ambiente de grupos cooperativos se fomenta la comunicación y clarificación de ideas. El aprendizaje cooperativo incluye la necesidad de enfatizar la negociación y la compartición de significados a través de la discusión y de diferentes formas de colaboración. Esto hace posible, para los estudiantes, complementar cada uno de los procesos de la resolución del problema y les proporciona un andamiaje para el aprendizaje.

La ventaja de trabajar con grupos pequeños puede ser que los aprendices se involucren de manera activa y trabajen efectivamente de forma cooperativa, lo que les permite tener preferencias individuales, los motiva para usar productivamente su tiempo, los provee de una retroalimentación a su desempeño y los involucra para que tengan un papel en el proceso de asesoramiento. Resumiendo, traba-

jar con grupos pequeños puede proveer un ambiente que logra el aprendizaje activo cooperativo con retroalimentación informal.

Mediante actividades de auto-estudio, los estudiantes buscan, leen y estudian la información requerida de acuerdo con las metas de aprendizaje que ellos han formulado. Durante la sesión de tutoría de grupo, ellos discuten, comparan y clarifican la relevancia de la información descubierta en relación con el problema inicial. El aprendizaje auto-dirigido permite a los estudiantes adquirir habilidades para encontrar las fuentes de información, así como reconocer sus propias necesidades de aprendizaje. Ellos toman un papel activo en determinar las metas de aprendizaje, cómo llegar a ellas, cómo estudiarlas, cómo planear el tiempo requerido para adquirir el conocimiento y las habilidades, y cómo evaluar lo que han aprendido.

El tutor

En el PBL, el tutor tiene las siguientes funciones principales: es estimulador del proceso de aprendizaje y del trabajo cooperativo; monitorea y evalúa en qué cantidad contribuye cada miembro en las tareas grupales, a la vez crea las condiciones en donde cada uno de ellos pueda funcionar de manera óptima. Hace una adaptación lo más flexible posible del soporte de la enseñanza, tomando en cuenta las diferencias individuales entre los aprendices en cuanto a aptitudes cognitivas, así como en características afectivas y motivacionales.

Se ha argumentado que los estudiantes establecen guiones de lo que esperan en su educación, en un ambiente tradicional, lo que incluye: escuchar la clase, predecir ideas que vendrán en el examen, abarrotar información en la memoria de trabajo, y completar exámenes antes de que se olvide todo lo estudiado. Dichos guiones actúan como lentes a través de los cuales ellos miran y experimentan las actividades de aprendizaje. Parece ser que los profesores también desarrollan guiones de lo que significa enseñar (Marra, 2005), y por lo tanto, experimentan con diferentes alcances el impacto potencial de sus creencias pedagógicas y de enseñanza en la construcción de ambientes de aprendizaje.

En el PBL, el tutor es el que plantea el problema inicial. Ha diseñado un guión de enseñanza de acuerdo con lo que cree que los alumnos saben y les interesa. Sin embargo, a través de su interacción con los estudiantes puede reconocer cuáles son en realidad las inquietudes, deficiencias, conocimientos y

alcances en que el problema original impacta. De esta manera va modificando su propio guión de enseñanza.

De acuerdo con Marra (2005), cuando los profesores se encuentran con predisposición al cambio conceptual en relación con las didácticas, su participación en el diseño de ambientes de aprendizaje constructivistas puede influenciar y hacer más compleja su visión y sus creencias acerca de la enseñanza, del aprendizaje y de su epistemología. Esto se debe a que los profesores tienen que pensar en la enseñanza de manera no-tradicional. De esta forma, están más dispuestos a comunicar esta complejidad a sus estudiantes y a promover su desarrollo epistemológico.

Un proyecto de enseñanza experimental basado en un problema es complejo porque no sólo involucra la actualización y/o creación del material de apoyo experimental, sino que también supone la actualización y entrenamiento de la planta docente que lo imparte. Los profesores deben revisar las realidades y expectativas de la enseñanza experimental para la enseñanza superior en Físicoquímica, así como también deben discutir los contenidos necesarios y los procedimientos adecuados. Esto genera una discusión académica en el grupo colegiado, que a la vez actualiza a sus integrantes, los lleva a una actitud más propositiva y activa en el proceso de enseñanza.

La interacción de los elementos del ambiente PBL

La forma como pensamos que los elementos del PB descritos anteriormente interactúan se muestra en la figura 1. Ésta integra elementos, acciones y productos del trabajo en el laboratorio. En la parte externa del triángulo se pueden ver los tres elementos del sistema PBL: el problema, los estudiantes y el tutor. De manera correspondiente, en el interior del triángulo se presentan: las tareas del problema, los grupos cooperativos y los guiones de enseñanza que los profesores proponen de acuerdo con los objetivos de su programa. Cada elemento actúa para producir resultados valiosos para el proyecto.

Si comenzamos a leer el triángulo a partir del tutor, se observa que éste es quien presenta el problema a los alumnos, los anima a trabajar en equipo para proponer soluciones y acciones. Siguiendo el movimiento de las manecillas del reloj pasamos al siguiente elemento PBL. En la base del triángulo se ha colocado al problema y las tareas relacionadas

con la búsqueda de una solución apropiada para el mismo. Siguiendo el sentido horario, se establece que los estudiantes conocen las características del problema, lo estudian con base en sus conocimientos previos, para después plantearse sus propias preguntas. Se organizan en pequeños grupos cooperativos donde se discuten y proponen tareas y procedimientos para atacar al problema. Estos grupos lo han reinterpretado, de tal manera que pueden proponer las tareas del problema que les son indispensables para poder resolverlo. Las sesiones de discusión son coordinadas por el profesor quien guía al grupo para llegar más fácil y rápidamente a una solución aceptable. Durante el desarrollo del problema, el tutor monitorea el trabajo individual y de grupo, evalúa las acciones, los datos así como los resultados que se van dando, y de acuerdo con lo que observa, va modificando sus guiones de enseñanza.

Es el tutor quien inicia las acciones que eventualmente recaen sobre el estudiante; sin embargo, se observa que es el estudiante, después que ha socializado el conocimiento, quien modifica finalmente en el tutor los guiones de enseñanza. Todo el tiempo, el instrumento a través del cual las acciones proceden es el problema.

Conclusiones

El PBL se presenta como una aplicación didáctica potencialmente exitosa en la enseñanza experimental de la Físicoquímica ya que se enfatiza en desarro-

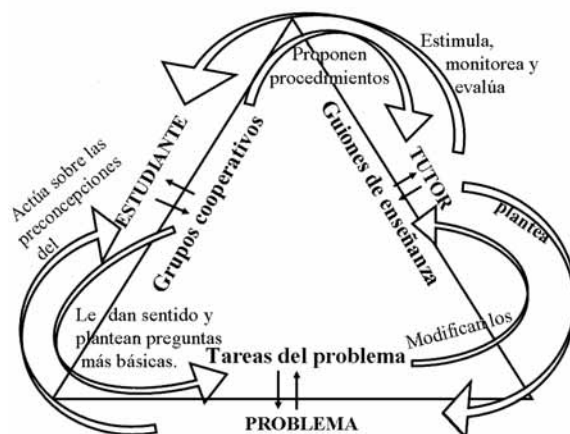


Figura 1. Esquema de interacción propuesto entre los tres actores (estudiante, tutor, problema) que intervienen en el ambiente de aprendizaje basado en un problema (PBL).

llar las habilidades de pensamiento y resolución de problemas de alto nivel cognitivo en el aprendiz. Se espera que la presentación de problemas reales en Físicoquímica, contextualizados en la vida cotidiana del estudiante, resulte motivante y contribuya a la internalización del aprendizaje.

Debido a que este instrumento se centra en el aprendizaje del alumno y no en la obtención de respuestas correctas, el tutor tiene que replantear tanto sus guiones de enseñanza como sus métodos de evaluación. Así pues, el profesor debe estimular, monitorear y conducir el trabajo individual y el de los grupos cooperativos para que se planteen las hipótesis experimentales verificables adecuadas. La propuesta de procedimientos experimentales que comprueben dichas hipótesis pondrá en evidencia la adquisición de las habilidades cognitivas adquiridas por los alumnos, de tal forma que es en este punto donde se puede evaluar el éxito en el aprendizaje.

Una idea importante del PBL con respecto al estudiante, es que éste acepta la responsabilidad de su propio aprendizaje. De esta manera es que podrá adquirir las habilidades de alto nivel cognitivo. Es el alumno el que tiene que resolver un problema con las herramientas de las que dispone, incluyendo tanto sus concepciones alternativas como sus conocimientos disciplinares. Esto se logra porque tiene que pensar en el problema y, dado que éste se ha diseñado de tal forma que muestra alguna situación que enfrenta en la vida cotidiana, también le hace pensar para qué quiere resolverlo. La socialización de todas estas inquietudes en los grupos cooperativos, lleva a los estudiantes a una dialéctica que los ayuda a construir el conocimiento. El reto más importante en el planteamiento de un problema es que los estudiantes *quieran* hacerlo, y no que *deban* hacerlo.

Cada elemento del PBL (alumno, tutor, problema) ocupa una posición importante frente a los otros dos y su interacción produce un equilibrio estable, donde cada uno de ellos es fundamental para el logro de las metas del aprendizaje.

El triángulo que muestra la interacción de los elementos PBL nos ayuda a entender la manera en que se integran los elementos, las acciones y los productos del trabajo en el laboratorio en un ambiente PBL. ■

Referencias

- De Corte, E. Towards powerful learning environment for the acquisition of problem-solving skills. *European Journal of Psychology of Education*, 5(1), 5-19, 1990.
- Dochy, F., Segers, M., Bosscheand, P. and Struyven, K. Students' perceptions of a problem-based learning environment. *Learning Environments Research*, 8: 41-66, 2005.
- Domin, D. S. A Content analysis of general chemistry laboratory manuals for evidence of higher-order cognitive tasks. *J. Chem. Educ.*, 76(1), 109-111, 1999a.
- Domin, D. S. A review of Laboratory Instruction styles. *J. Chem. Educ.*, 76(4), 543-47, 1999b.
- Gallet, Ch. Problem-solving teaching in the chemistry laboratory: leaving the cooks... *J. Chem. Educ.*, 75 (1) 72-77, 1998.
- Green, W.J., Elliot, C., and Cummins, R.H.. "Prompted" Inquiry-based learning in the introductory chemistry laboratory. *J. Chem. Educ.*, 81(2) 239-241, 2004.
- Hofstein, A. and Lunetta, V.N. The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century, *Science Education*, 88, 28-54, 2004
- Leite, L. y Figueiroa, A. Monografía: Las actividades de laboratorio y la explicación científica de los manuales escolares de ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 39, 20-30, 2004.
- Nakhleh, M. B., Polles, J., y Malina, E.. "Learning chemistry in a laboratory environment" in *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust and J. H. Van Driel (eds.), Dordrecht (The Netherlands): Kluwer Academic Publishers, p. 69-94, 2002.
- Marra R., Teachers beliefs: the impact of the design of constructivist learning environments on instructor epistemologies. *Learning Environments Research*, 8: 135-155, 2005.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. *Aprender a enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Capítulo III. La adquisición de procedimientos: aprendiendo a aprender y a hacer ciencia. Ediciones Morata, S.L.: Madrid. 1998.
- Prawat, R. S. Constructivism modern and postmodern. *Educational Psychologist*, 31, 215-225, 1996.
- Ram, P. Problem-based learning in undergraduate education. *J. Chem. Educ.*, 76 (8) 1122-1126, 1999.
- Shiland, T.W. Constructivism: the implications for laboratory work. *J. Chem. Educ.*, 76(1) 107-109, 1999.
- Silverstein, T. P., Hudak, N. J., Chapple, F. H., Goodney D. E., Brink, C. P. y Whitehead, J. P. Scientific Communication and the Unified Laboratory Sequence I. *J. Chem. Educ.*, 74 (2) 150, 1997.
- Tynjälä, P. Towards expert knowledge? A comparison between a constructivist and a traditional learning environment in the university *International Journal of Educational Research*, 31, 357-442, 1999.
- Velches, A. y Furió, C. (1999). Ciencia, Tecnología y Sociedad: Implicaciones en la Educación Científica para el Siglo XXI. Conferencia dictada en el I Congreso Internacional de "Didáctica de la Ciencia", La Habana, Cuba.