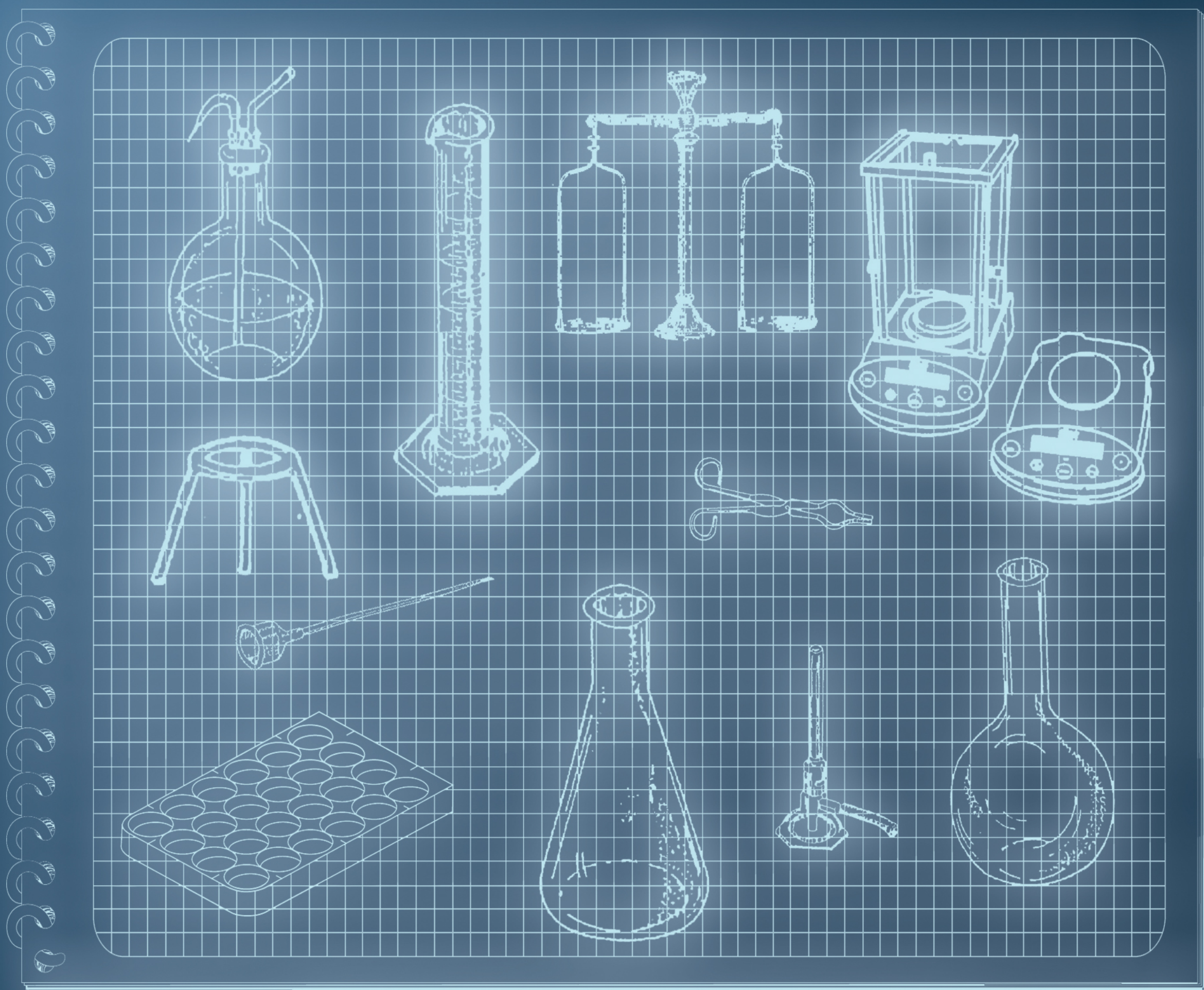




Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Química

La Enseñanza Experimental de la Química

Las Experiencias de la UNAM



Elizabeth Nieto Calleja
José Antonio Chamizo Guerrero



LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL DE LA QUÍMICA LAS EXPERIENCIAS DE LA UNAM

Coordinadores

Elizabeth Nieto Calleja ♦ José Antonio Chamizo Guerrero



unam
donde se construye el
futuro

Primera edición: 2013

Fecha de edición: 27 de junio de 2013.

D.R. © 2013 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán,
C.P. 04510, México, Distrito Federal.

ISBN: 978-607-02-4806-1

“Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio,
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales”.

Impreso y hecho en México

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	ix
PRÓLOGO	
JORGE VÁZQUEZ RAMOS DIRECTOR DE LA FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNAM	xi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 ANTECEDENTES	
JOSÉ ANTONIO CHAMIZO GUERRERO, GISELA HERNÁNDEZ MILLÁN, ALEJANDRA GARCÍA FRANCO, KIRA PADILLA MARTÍNEZ, ELIZABETH NIETO CALLEJA	4
2.1 SOBRE LA HISTORIA Y LA FILOSOFÍA	4
2.2 SOBRE LA DIDÁCTICA	13
2.3 SOBRE LA EVALUACIÓN.....	19
3 EXPERIENCIAS EN LA UNAM.....	35
3.1 QUÍMICA EXPERIMENTAL APLICADA	
JAVIER PADILLA OLIVARES (†)	36
COMENTARIO. EDUARDO MARAMBIO DENNETT.....	53
3.2 ORÍGENES Y EVOLUCIÓN DEL LABORATORIO DE CIENCIA BÁSICA	
MARGARITA ROSA GÓMEZ MOLINÉ	60
COMENTARIO. ARMANDO SÁNCHEZ MARTÍNEZ.....	84
3.3 REFORMA DE LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL	
MARTÍN HERNÁNDEZ LUNA	88
COMENTARIO. ANDONI GARRITZ RUIZ.....	101
3.4 MICROESCALA	
ELIZABETH NIETO CALLEJA, MIGUEL GARCÍA GUERRERO Y ROSA MARÍA GONZÁLEZ MURADÁS	109
COMENTARIO. ALEJANDRO BAEZA REYES.....	125

3.5	SEGURIDAD Y RESIDUOS	
	ELVIRA SANTOS SANTOS, IRMA CRUZ GAVILÁN GARCÍA Y EVA LEJARAZO GÓMEZ.....	133
	COMENTARIO. CRISTINA CORTINAS DE NAVA.....	146
3.6	A MANERA DE RECAPITULACIÓN	
	SANTIAGO CAPELLA VIZCAÍNO	152
4	CONCLUSIONES	157
5	ANEXOS	160
5.1	EJEMPLOS DE INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN	161
5.2	EJEMPLOS DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES EN LA UNAM.....	167
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	199
7	LOS AUTORES	211

PRESENTACIÓN

El presente texto es el resultado de varios años de discusión académica sobre la enseñanza experimental en la Facultad de Química de la UNAM. Ya en septiembre de 2004, el Seminario de Investigación Educativa en Química (SIEQ) organizó el *Simposio de la Enseñanza Experimental* con la participación de múltiples docentes de nuestra propia entidad, así como de otras facultades de la UNAM y del bachillerato universitario. Quedó clara desde entonces la necesidad de recuperar nuestras propias experiencias y enmarcarlas dentro del amplio abanico que la investigación educativa ha venido estableciendo.

Desde la construcción misma de la hoy Facultad de Química en Ciudad Universitaria, la arquitectura que concretó las aulas de su edificio principal ubicaba al laboratorio como un lugar central en la enseñanza de la Química. Siguiendo las directrices establecidas en el siglo XIX en Europa, los alumnos tomaban su lugar en un espacio tipo foro, en el que observaban los experimentos realizados por el profesor delante de todos, en una mesa adecuada para ello. Atrás del docente estaba un pizarrón que podía retirarse para acceder a materiales, reactivos o equipos necesarios. El aula se encontraba entre dos laboratorios, a la cual acudían previa o posteriormente los estudiantes. Química era sinónimo de experimental.

Desde entonces, poco más de medio siglo y con un enorme crecimiento en la matrícula de estudiantes, con la consecuente necesidad de recursos económicos para sostener y actualizar reactivos y aparatos de laboratorio, se han dado muchos cambios. A las importantísimas experiencias de cátedra, el laboratorio integral de ciencia básica o la incorporación de medidas de seguridad y eliminación de residuos, se han desarrollado en nuestra Facultad diversas experiencias sobre este tema. Resultaba fuera de nuestras fuerzas y capacidades distinguir a todas ellas, así que nos dimos a la arbitraria tarea de reconocer las que parecían ser más valiosas, ya fuera por su trascendencia institucional o por su relevancia dentro de la propia disciplina.

Identificamos así un hilo conductor que va desde la integración de los laboratorios de Química Experimental Aplicada y el de Ciencia Básica, en los que se apela a resolver un problema, a la Reforma de la Enseñanza Experimental, la cual profundizaba y extendía la discusión teórica y

planteaba la necesidad de un mejor equipamiento en la infraestructura de los laboratorios; así como a la más reciente incorporación de actitudes conscientes y responsables sobre los reactivos y productos de las reacciones químicas en el ámbito educativo, con las propuestas de Microescala y del tratamiento adecuado de los residuos. Quedaba claro que enseñar seguridad también era y es enseñar Química.

El relato y el análisis de dichas experiencias están precedidos por un texto que nombramos *Antecedentes* y que ubica, desde la investigación educativa actual, los orígenes, los alcances didácticos y las diversas estrategias de evaluación de la enseñanza experimental. Le sigue otro, identificado como *Conclusiones*, el cual retoma los resultados del Coloquio sobre Retos en la Enseñanza Experimental, realizado en enero de 2010 como un espacio de reflexión a las inquietudes de esta actividad, mismas que el SIEQ hizo llegar al H. Consejo Técnico de la Facultad de Química ese mismo año.

Durante la elaboración del presente documento participaron muchas personas que queremos reconocer. A los autores, desde luego, por las diversas revisiones de sus textos; a Silvia Bello y Glinda Irazoque, integrantes del SIEQ, que con sus valiosos comentarios ayudaron a su concreción; a Carlos Mauricio Castro por la identificación de experiencias relacionadas con las aquí identificadas; al PAPIME por su apoyo económico a través del **proyecto 202309**; al Comité Académico de Docencia y al Departamento Editorial de la Facultad de Química por la revisión, aprobación y edición; a los muchos colegas, que no podemos mencionar explícitamente porque cometeríamos omisiones incorrectas, quienes compartieron con nosotros sus experiencias y, finalmente, a los muchos alumnos y maestros que con su trabajo, crítica y alegría nos han permitido concluir lo que aquí concluimos.

Elizabeth Nieto Calleja y José Antonio Chamizo Guerrero
México, 2013

PRÓLOGO

Es innegable que para el aprendizaje cabal en algunas áreas de la ciencia se necesita de la práctica, lo experimental, y la Química es ejemplo de ello. En sus orígenes, la enseñanza en la primigenia Facultad de Ciencias Químicas de la UNAM se fundamentó en la formación de los técnicos requeridos para apoyar a la incipiente industria química nacional, y no fue sino muchos años después, hasta el momento previo al cambio a su nueva casa, en Ciudad Universitaria, que se concibió la profesionalización de la figura del docente en ciencias experimentales de la Química, un parteaguas que incluso tuvo influencia más allá de las fronteras nacionales.

En este libro, profesores de la Facultad de Química, con largos años de experiencia docente, tanto en las asignaturas teóricas como en las experimentales, me refiero al Dr. José Antonio Chamizo y a la Maestra Elizabeth Nieto, recopilan y analizan la información acumulada por decenios, resultado de los intentos que distintos grupos de académicos de la Facultad han desarrollado en pro de mejorar la enseñanza experimental. Parten de las posturas filosóficas acerca de la didáctica y la evaluación que las principales escuelas en el mundo han postulado. Es un trabajo demandante y un ahínco loable, que nos deberá situar en la realidad de nuestra vocación docente. Leer los relatos y las opiniones de destacados académicos, entre ellos Javier Padilla, Eduardo Marambio, Martín Hernández, Andoni Garritz, Elvira Santos, Alejandro Baeza, Cristina Cortinas y Santiago Capella, garantiza revivir momentos de gran liderazgo y fortaleza intelectual por los que ha transcurrido la vida de la Facultad.

El libro narra los tres grandes esfuerzos realizados por crear una forma de enseñanza experimental basada, en todos los casos, en guiar a los alumnos a encontrarse con el conocimiento y hacerlo suyo, y que incluso permitieron, en el último gran intento, la elaboración de guiones experimentales para una proporción importante de las materias que se ofrecían en ese entonces para las diversas carreras. También se incluyen dos ejercicios más puntuales, referentes a la implementación del laboratorio en microescala y a los cuidados que se requieren en cuanto a seguridad y disposición de los residuos en un laboratorio químico.

Probablemente la mayor enseñanza derivada de todos estos empeños radica en la definición de los intereses del componente humano, verdad de Perogrullo, sin embargo, no ha sido un principio rector evidente en estas iniciativas. No son los buenos programas, ni las buenas ideas, ni la manera en que intentemos adaptar el conocimiento internacional de vanguardia sobre la didáctica de la enseñanza experimental, lo que promoverá un cambio radical (o al menos sustantivo) en la forma de enseñar y aprender mediante lo experimental; la gran transformación, la experiencia parece decir, radica en la proclividad de los actores en entender, aceptar y adoptar el cambio: profesores y estudiantes. Lo desarrollado en la FES-Cuautitlán indica que si se hace todo desde el principio, educando a cada participante para entender y aceptar nuevas formas didácticas, aplicándolas desde la formación misma de una carrera, el resultado podría ser positivo. No obstante, se tienen ejemplos ambiguos de cuántos beneficios se logran mediante ese sistema, dados los resultados arrojados por el bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.

Aunque este libro comienza con una sección de antecedentes que narra las grandes tendencias mundiales en cuanto a la investigación y la filosofía en materia educativa y los mejores métodos didácticos, la conclusión parece ser que no hay acuerdo en un modelo único. Surgen las preguntas sobre si lo investigado, descrito y generado para otras culturas y sociedades es igualmente aplicable a cualquiera, si deberíamos comenzar por entender la idiosincrasia del mexicano y a partir de ello desarrollar y/o adaptar nuestros propios modelos educativos, teóricos y experimentales. Finalmente, el profesor es el responsable inicial de promover los cambios deseados y es a quien se le debería educar para serlo. Mientras que en otras sociedades no se puede ser docente sin estar preparado para ello, en nuestro país la improvisación es la regla. Ningún modelo funcionará si pocos lo entienden y lo ejercen. Tenemos un gran reto, un reto monumental, bien nos valdría comenzar a meditar por dónde comenzar a resolverlo. Los ejemplos narrados a continuación y las enseñanzas derivadas pueden ser una excelente semilla.

Jorge Vázquez Ramos

Director de la Facultad de Química, UNAM

1 INTRODUCCIÓN

La enseñanza experimental representa uno de los pilares de la vida académica de la Facultad de Química. La mayor parte del tiempo de alumnos y profesores de esta entidad transcurre dentro de los laboratorios.

A pesar de lo extenso del trabajo en el laboratorio, en el sentido de que ocupa una gran cantidad del tiempo de los estudiantes en la Universidad, puede considerarse breve en comparación con el tiempo de contacto necesario para mantener la esencia conceptual del aprendizaje, de modo que, aunque los estudiantes perciban el laboratorio como un lugar donde están activos (en el sentido de realizar algo), muchos son incapaces de establecer una conexión entre lo que hacen y aprenden. Por supuesto, no basta con leer que el color de una disolución cambia al agregarle un ácido, o que el magnesio arde formando una luz blanca brillante; los estudiantes necesitan (idealmente) experimentar estos fenómenos directamente y manejar los objetos y los materiales por sí mismos, para desarrollar un bagaje de experiencia personal al que puedan darle sentido (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999). Los laboratorios pueden ser también espacios que permiten a los estudiantes elaborar sus propias investigaciones, contribuyendo en gran medida a desarrollar su comprensión de la naturaleza de las ciencias, y sus habilidades para llevar a cabo tareas de investigación.

Hay, sin embargo, una gran cantidad de evidencia derivada de la investigación educativa, la cual indica que el trabajo experimental es sobreutilizado e infrautilizado (Hodson, 1994; Abrahams y Millar, 2008). Se utiliza en demasía porque los profesores lo emplean con la idea de que servirá para alcanzar una diversidad de objetivos de aprendizaje; y es infrautilizado porque sólo en contadas ocasiones se explota completamente su auténtico potencial, debido a problemas en el diseño de las actividades. De hecho, y como se abordará en la presente obra, parte de las prácticas que ofrecemos actualmente a los estudiantes están mal concebidas, son confusas, y carecen de valor educativo; en buena medida, son el resultado de proyectos y reformas ambiciosas, pero deficientemente estructuradas y cuya evaluación, por quien la hizo, desconocida o ignorada.

Ante esta evidencia, vale la pena plantearse preguntas respecto a la enseñanza experimental, *¿cuál es su sentido en el aprendizaje?, ¿cuáles son sus objetivos?, ¿cuál es la mejor forma de evaluarla?, ¿vale*

la pena la inversión que se hace en ella? Evidentemente, estas preguntas no tienen una respuesta única ni determinada, y las soluciones a ellas dependen del contexto en el que se hagan, del tema particular que se esté enseñando, de la visión de los profesores y los alumnos sobre la construcción de las ciencias, entre otros.

En épocas recientes se han llevado a cabo proyectos amplios de investigación en distintos lugares del mundo, los cuales nos permiten contar con referentes teóricos y empíricos sobre la enseñanza experimental (Leach y Paulsen, 1999; Psillos y Niedderer, 2002; Singer, Hilton y Schweingruber, 2005; Hofstein y Lunetta, 2005; Pinto, 2002; Séré *et al.*, 1998; Abrahams y Millar, 2008), y pueden ayudarnos a responder las preguntas antes planteadas.

A lo largo de la vida académica de la Facultad de Química, se han desarrollado múltiples proyectos de enseñanza experimental, que han respondido a diversos enfoques pedagógicos vigentes en el momento de su aplicación; o bien, a demandas sociales, ambientales, así como al interés de ciertos grupos de profesores por renovar la docencia. En la actualidad, con un intenso debate sobre la pertinencia y las características de la enseñanza, amenazada con ser reemplazada por prácticas *light* en computadora, sin residuos, ni explosiones, ni “peligro” experimental, es propicio reconocer la experiencia múltiple y diversa de la Facultad de Química. No se trata de hacer un recuento de anécdotas sobre los diferentes proyectos de enseñanza experimental, sino de analizarlos a la luz de lo que se piensa actualmente sobre ésta y su papel en la construcción del saber científico. El reconocimiento de las experiencias relacionadas con el trabajo realizado en Química permitirá plantear un modelo de enseñanza experimental para abordar las necesidades del futuro, de acuerdo con los modelos actuales.

Para lograr lo anterior, hay que reconceptualizar la enseñanza experimental, lo que implica plantear un marco teórico amplio que permita analizar las experiencias obtenidas. De tal forma que, a la luz de los logros y dificultades encontrados, sea posible implementar propuestas y estrategias que respondan a los objetivos que se desean alcanzar con los alumnos. Esto es haciendo uso de una diversificación de experiencias destinadas, por ejemplo, a obtener una familiarización perceptiva con los fenómenos a través de experimentos ilustrativos como lo pueden ser los de cátedra que muestren un principio o una relación entre variables, o bien, investigaciones diseñadas

para dar a los estudiantes la oportunidad de aprender a planificar y desarrollar trabajos de investigación que contesten a alguna de las preguntas formuladas por ellos mismos.

A pesar de los inconsistentes esfuerzos realizados en la UNAM, particularmente en su bachillerato por mejorar la enseñanza experimental, que más bien apelan a su sustitución por prácticas *light*, y olvidan el papel protagónico de los docentes en su concreción en los laboratorios, es necesario propiciar un cambio de la enseñanza experimental a partir de una propuesta diferente, que facilite un aprendizaje significativo y motive en los alumnos el interés real y profundo por las ciencias, a través de su propio conocimiento, así como el de su contexto, el cual promueva y fomente el desarrollo de habilidades cognitivas y procedimentales propias de las ciencias experimentales. Esto implicaría basar dicha enseñanza en el estudiante, que genere las circunstancias adecuadas, para que éste pueda desarrollar la capacidad de hacerse preguntas y establecer las condiciones experimentales para responderlas. Lo anterior sin olvidar que una de las ambiciones de la Universidad es fomentar el que sus alumnos sean activos protagonistas en la sociedad en la que viven, porque conociéndola, deben ser capaces de intervenir en ella.

Por lo anterior, a partir de lo que se tiene, valdría la pena preguntarse, además de las preguntas antes enunciadas:

- *¿Qué transformación requiere el laboratorio universitario?*
- *¿En qué medida se puede sustituir una experiencia directa con una a través de una computadora?*
- *¿Todas las disciplinas requieren del mismo tipo de enseñanza experimental?*
- *¿Están los docentes suficientemente preparados para abordar la enseñanza experimental?*
- *¿Qué hay en la historia de la enseñanza experimental que pueda ayudarnos a mirar hacia el futuro y plantear soluciones probables?*
- *¿Cuáles son las mejores opciones para la enseñanza experimental en el México del siglo XXI?*

Esperamos que lo aquí escrito ayude a encontrar algunas respuestas.

Los Coordinadores

2 ANTECEDENTES

JOSÉ ANTONIO
CHAMIZO GUERRERO,
GISELA HERNÁNDEZ
MILLÁN, ALEJANDRA
GARCÍA FRANCO, KIRA
PADILLA MARTÍNEZ,
ELIZABETH NIETO
CALLEJA

Un experimento, más que imitar cómo trabajan los científicos, debe ser un diálogo entre el observador y el mundo natural alrededor del observador

W. De Vos

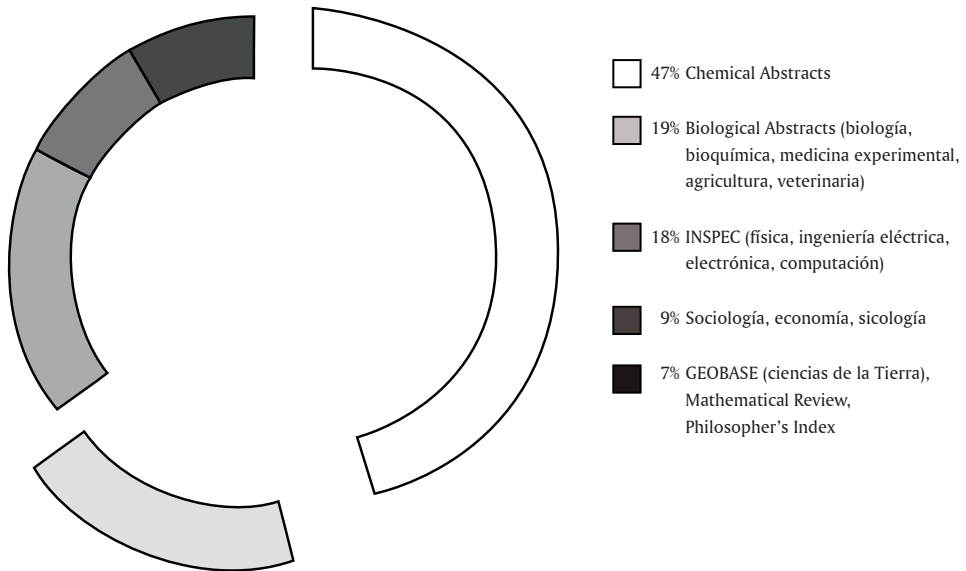
2.1 SOBRE LA HISTORIA Y LA FILOSOFÍA

Ante los vertiginosos cambios que experimentan las sociedades actuales, derivados en gran medida del impacto que las ciencias y la tecnología tienen en la vida cotidiana de sus integrantes, en los últimos años se ha presentado un intenso debate sobre formas alternativas de enfrentar los procesos de aprendizaje (Duschl, 1994; Matthews, 1994; Justi, 2002). La cantidad de conocimiento científico generado es tal que para enseñarlo no es suficiente, como se ha hecho hasta ahora, profundizar en el saber específico de la asignatura correspondiente (que sin duda es fundamental). Es necesario además, incorporar la reflexión sobre la estructura de las ciencias y el papel que ésta ha jugado en nuestra sociedad y, principalmente, es necesario discutir la dinámica de cambio del conocimiento y de la ciencia, puesto que el objetivo es evolucionar los conocimientos del alumnado hasta hacerlos rigurosos y útiles (Giere, 1988; Mc Comas, 2000).

Para ello se debe escoger, de entre la enorme cantidad de información generada, aquella que permita desarrollar las competencias requeridas en un mundo cada vez más cambiante, la cual prepare mejor para un futuro no predeterminado. En la **Gráfica 1** se muestra el porcentaje de publicaciones indexadas de acuerdo con su contenido en el año 2000 (el número total de publicaciones fue cercano a los dos millones; Schummer, 2006). Como puede observarse, la Química representa casi la mitad de toda la información producida en ese año, es decir, equivale prácticamente a lo que generan todas las disciplinas juntas. Por lo anterior, frente al enorme crecimiento de la información química que duplica todo lo conocido cada tres o cuatro años, los docentes de ciencia en general y los

de Química en particular (una vez que ésta es la ciencia más productiva) somos, sepámoslo o no, querámoslo o no, profesores de historia de las ciencias (Chamizo, 2007a), y ello implica siempre una selección de contenidos, de aquellos que se consideran más pertinentes y relevantes para el aprendizaje de los alumnos.

Porcentaje de publicaciones nuevas (artículos, libros, patentes)



Gráfica 1. Porcentaje de publicaciones nuevas realizadas en el año 2000 (Schummer, 2006).

Desde hace miles de años, las actividades realizadas en los laboratorios, como espacios dedicados al trabajo práctico, en lugar de la investigación teórica, han sido consideradas de menor nivel intelectual. La palabra latina *laborare* nos remite al trabajo manual, el cual era realizado, tanto en el Imperio romano como en las ciudades griegas que le antecedieron, por los esclavos. T. Hobbes, el filósofo inglés del siglo XVII, indicaba la inferioridad social de aquellos que se dedicaban al trabajo práctico: drogueros, jardineros, herreros o mecánicos. Quienes suponían que con dinero (con el cual se compran mejores materiales y/o equipamiento) podían obtener conocimiento estaban equivocados. Para Hobbes, como para otros muchos académicos de su tiempo, y aún hoy en día, una biblioteca era mucho mejor que un laboratorio.

Estas ideas calaron fuertemente en la mentalidad hispana, particularmente en lo que se refiere a la investigación y enseñanza de la Química, como bien nos lo recuerda F. Giral (1969):

Una primera consecuencia que pudiera deducirse del origen hispánico de la universidad no está disociada del carácter común, y se manifiesta en una mayor disposición para *hablar* que para *hacer*, en la mayor inclinación de los *saberes* a los *haceres*, es decir, en una tendencia al teoricismo que conduce fácilmente, en nuestro caso concreto de la química, hacia una “química de papel”, “química de pizarrón” o “química de escritorio”.

Desde la más remota Antigüedad, y en particular a partir de la Edad Media, la preparación de medicamentos, la fabricación de jabones, pigmentos, vidrio, materiales cerámicos y explosivos, y la extracción de metales fueron actividades prácticas, alejadas de la reflexión filosófica, y realizadas alrededor de mercados y en lugares públicos. Sin embargo, desde esa época ya se identificaba la característica más importante de un laboratorio: su aislamiento de la vida cotidiana. Esto se logró con los primeros laboratorios de Química que antecedieron a los de Física por casi dos siglos. Como lo ha indicado Crosland (2005):

En los laboratorios alquímicos, habría uno o varios hornos, de ser posible junto con un almacén de combustible y un suministro de agua, con un fregadero, frascos, retortas y otros aparatos, y una variedad de reactivos químicos etiquetados. (...) era habitual en los laboratorios alquímicos la presencia de diferentes tipos de horno, proporcionando grados ascendentes de calor, que iban desde un fuego suave con un baño de agua a un horno de reverbero. La destilación usualmente se llevaría a cabo a una temperatura intermedia, aunque, por supuesto, el concepto de temperatura realmente se alcanzó hasta el siglo XVIII.

Desde el siglo XVII, el acceso a una fuente permanente de energía y agua corriente fueron configurando el espacio de lo que hoy reconocemos en cualquier lugar del mundo como un laboratorio. Inclusive, a principios del siglo XIX, los laboratorios de Química eran aquellos en los que se utilizaba la recién descubierta corriente eléctrica, la cual fue utilizada eficazmente en Inglaterra por H. Davy, para aislar muchos de los elementos alcalinos y alcalinotérreos.

Los aparatos y los reactivos en los laboratorios químicos eran productos artesanales, contruidos y preparados en la localidad. Eran sumamente preciados, como se muestra en las cartas que S. Cannizzaro, en pleno siglo XIX, escribía a sus colegas, en diversos lugares de Italia, para intercambiarlos entre ellos. Es importante hacer notar que los aparatos utilizados en los laboratorios, a partir del siglo XVII eran contruidos con dos intenciones: una para realizar propiamente investigación en Química y la otra para enseñar. Algunos de los aparatos que utilizó A. Lavoisier tenían este último propósito (Russell, 1985). La fabricación masiva de balanzas comerciales empezó en Londres sólo hasta mediados del siglo XIX, poco antes de que Bunsen, en Alemania, inventara su famoso mechero.

El laboratorio de Justus von Liebig, iniciador del estudio sistemático de los fertilizantes, en Giessen, fue quizá el primero diseñado expresamente para la enseñanza experimental de la Química. Hasta mediados del 1830, esta ciencia era marginal en las universidades alemanas. Adquirió importancia en ellas debido a la demanda de científicos especializados en esta área del saber, manifestada por la incipiente industria farmacéutica que los requería con urgencia. Al respecto, von Liebig fue el precursor, pues diseñó una primera didáctica de la Química y solicitó apoyo económico del Estado alemán para ponerla en práctica. En su laboratorio, los jóvenes recibían una formación basada en los métodos experimentales de la investigación química: el análisis y la síntesis.

El profesor planteaba un problema y varios estudiantes investigaban, según sus conocimientos previos y su criterio, las diferentes maneras para resolverlo. Los más avanzados ayudaban a los principiantes, con lo que el número de alumnos podía ser –como en efecto fue– mucho mayor que en cualquier otro lugar. Los discípulos de Liebig ocuparon la mayor parte de los puestos de trabajo en las universidades alemanas y del extranjero. Uno de ellos fue el mexicano Vicente de Ortigosa, quien se matriculó de doctorado (de hecho fue el primer estudiante con este grado del continente americano) en 1839, con una tesis sobre la composición de la nicotina del tabaco (Chamizo, 2002).

La historia de la Química puede ser contada a través de sus revoluciones (Jensen, 1998; Chamizo, 2011). A la primera revolución que llevó a cabo



Figura 1. Imagen del laboratorio de Liebig en Giessen. A la extrema izquierda Vicente de Ortigosa.

Lavoisier entre 1770 y 1790, le siguieron innovaciones muy importantes: los átomos de Dalton, la electroquímica que permitió descubrir nuevos elementos reconocidos a través de la simbología propuesta por Berzelius, la separación que este último hizo de la Química en orgánica e inorgánica, los pesos equivalentes, las leyes de los gases, los tipos, las moléculas, los trabajos de Avogadro, la isomería, la valencia y muchas otras dificultades químicas que pudieron resolverse con una segunda revolución que se ejemplifica en el Primer Congreso Internacional de Químicos en Karlsruhe, Alemania, en el año de 1860, convocado por tres reconocidas personalidades de la época, ambicionaban, como Lavoisier años atrás, reformar y perfeccionar el lenguaje de la Química. Fracasaron en su intento original, pero salieron fortalecidos y compartiendo el paradigma que caracterizaría la segunda revolución (Kauffman, 2010).

La Química era una actividad pública europea que posteriormente perfeccionaría su lenguaje, a través de otros congresos y, con la fundación de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés). Por otro lado, a partir de la participación de Cannizzaro en Karlsruhe, las moléculas quedaron claramente diferenciadas de los átomos y, D. Mendeleiev, otro asistente al evento, construyó su famosa tabla periódica, utilizando la valencia y los pesos atómicos. La mayoría de las dudas teóricas se disiparon, mientras que los avances industriales, a partir del descubrimiento del colorante malva por W. Perkin se aceleraban, particularmente en Alemania.

El modelo universitario alemán que relacionaba estrechamente la investigación “pura” con la “aplicada” fue copiado por otros países de Europa. Así, la segunda revolución atestiguó la transformación del químico amateur por el profesional. La Química fue la primera, entre todas las otras ciencias, en la que el trabajo experimental se volvió obligatorio durante su enseñanza.

En ese momento, en muchos países de Europa se instaló la educación obligatoria, las escuelas empezaron a ser construidas y gestionadas por los gobiernos locales. Como lo indica Knighth (1992, p. 155): “Probablemente, durante el siglo XIX, la química fue la ciencia más enseñada (...) la química era útil para cualquiera ya fuera que se interesara en ciencia pura o aplicada; las industrias requerían cada día más y más personas con conocimientos de química”. Para la mayoría era claro que los químicos pensaban no sólo con el cerebro, sino también con las manos.

La tercera revolución química (1904-1924) atestigua el establecimiento de la fisicoquímica y la manera física de pensar de la comunidad química. Para todos quedó claro que los átomos se dividían, tenían un núcleo, había isótopos y los electrones permitían explicar la valencia. La espectrometría de masas muestra su enorme capacidad analítica.

La cuarta revolución química (1945-1965) (Chamizo, 2011) que podría llamarse “instrumental” se caracteriza fundamentalmente por la incorporación de nuevos instrumentos en las prácticas químicas. En 1945, al finalizar la Segunda Guerra Mundial, el presidente de la National Science Foundation de los Estados Unidos, V. Bush (1945), publicó un reporte conocido como *Ciencia. La frontera infinita*, en el que solicitaba de manera abierta que el gobierno federal financiara la investigación de las ciencias en las universidades norteamericanas. Con ello, la forma en la que trabajaban los químicos cambió radicalmente al integrarse en los laboratorios nuevos equipos. Por un lado, los espectrómetros, de UV-visible e IR inicialmente, pero al poco tiempo la más importante de todas, la resonancia magnética nuclear (RMN). Por el otro lado, los cromatógrafos e inclusive el rotavapor ocuparon un lugar en las mesas de los laboratorios. Se crearon nuevas industrias de equipamiento siguiendo la lógica militar de la estandarización de las partes, lo que facilitó su consumo. Los laboratorios químicos cambia-

ron más en ese periodo que en los 300 años anteriores. Aparecieron las computadoras y con ellas los programas de cómputo que permitieron hacer “cálculos químicos”. Lo anterior hizo que los químicos empezaran a pensar en la estructura de la materia en términos de la mecánica cuántica, que por entonces abanderaba de manera admirable L. Pauling.

La Química sintética aprovechó la llegada de los nuevos instrumentos y se empeñó en la preparación de nuevos productos más complicados, muchos de gran importancia biológica y medicinal. A lo anterior hay que añadir la manera en la que las macromoléculas comerciales cambiaron la forma literalmente de “constituir” el mundo (Brock, 1992). La posguerra marcó el inicio de la era de los plásticos. La aplicación de la termodinámica y la cinética química al estudio sistemático de estos materiales fue tarea abordada por diferentes grupos de investigación, entre los cuales se destacó el dirigido en Alemania por H. Staudinger.

La cuarta revolución química no se caracteriza por la resolución de una controversia, como fue el caso de las tres anteriores, sino en cambios significativos en el énfasis de la investigación y la práctica científica, así como en la estructura de las organizaciones académicas y profesionales. A partir de este momento, la Física y la Biología ocuparon un lugar preponderante en los intereses (bioquímicos) y en la forma de pensar (Física cuántica) de los químicos.

Una de las mejores caracterizaciones de la actividad profesional de los químicos (poco más o menos tres millones de personas en todo el mundo), surgida a principios del presente milenio (Hall, 2000), con motivo de una reconceptualización disciplinaria, en la que participaron varios ganadores del Premio *Nobel* de Química, indica que:

El objeto de la química es extenso. Cubre virtualmente todos los aspectos del comportamiento de átomos y de moléculas –de la creación de los elementos en las estrellas– a las moléculas complejas de la vida. La química, sin embargo, es mucho más que investigar el universo en el nivel molecular; su mandato central (que es absolutamente diferente del de otras disciplinas) es sintetizar nuevas formas de materia, muchas de las cuales son extremadamente útiles, por ejemplo, los productos farmacéuticos.

El método de la Química, a diferencia de la simplificada versión del método científico universal de los libros de texto de secundaria identificado con el positivismo lógico, consiste en dos operaciones: el análisis y la síntesis (Chamizo, 2009a).

Desde tiempo remoto, el análisis de las sustancias, asociado permanentemente al concepto de pureza, ha sido una obsesión para los químicos. Toda vez que las sustancias “naturales” no son puras, la separación de las partes que las constituyen, el aislamiento de lo que se quiere hasta donde sea posible, ha sido una constante del quehacer químico, incluso desde que éste era alquímico. Una buena parte de la historia de la Química ha sido la de las técnicas de separación y purificación. La pureza depende de nuestra posibilidad técnica de identificar impurezas. La IUPAC define el límite de detección como aquel que indica la concentración c_L o la cantidad q_L obtenida por la medición más pequeña X_L que puede ser detectada, con una razonable certidumbre, por una técnica analítica particular. Hasta hace pocos años, una sustancia desconocida podía ser identificada mediante espectrometría de masas, teniendo solamente una diezmillonésima de gramo de ella.

Los avances experimentales van redefiniendo la pureza y con ello el propio conocimiento químico. Hace poco ya era posible detectar 0.01 ng/L de Li, 1 ng/L de Hg o 20 ng/L de As. Cuando nos referimos a moléculas se trata (depende de su propio tamaño) de aproximadamente 100 millones de moléculas por litro. Por ello S. Rowland, ganador (junto con Mario Molina) del premio *Nobel* de Química en 1995 por su trabajo sobre el adelgazamiento de la capa estratosférica de ozono, ha dicho que la Química atmosférica “apareció” con el advenimiento de las técnicas de análisis capaces de detectar una parte en mil millones, es decir, cuando se estuvo en posibilidad de distinguir una molécula específica entre mil millones de moléculas distintas.

Los profesionistas químicos hacen nuevas sustancias que para ser reconocidas deben estar “perfectamente analizadas”. Bajo determinadas y específicas condiciones, el *Chemical Abstract Service* identifica como sustancias no sólo a compuestos con estructura y composición definida, sino también a polímeros, proteínas (completas o secuencias de las mismas) y a mezclas homogéneas de composición definida (aleaciones). Hasta septiembre de 2011, se han identificado 63 116 759 sus-

tancias diferentes (y se van añadiendo más de 4 mil cada día), de las cuales 24 379 646 se comercializan.¹

De acuerdo con lo anterior, adelantaremos ahora una breve caracterización del experimento químico. Para el filósofo de la ciencia, R. Harre (2004, p. 175): “Un experimento es la manipulación de un aparato, el cual es, en el mundo material, un arreglo de objetos integrados de diferentes maneras”. Por otro lado, mucho del análisis como de la síntesis química se lleva a cabo comúnmente en estado líquido o en disolución (es decir en disolventes que modifican las características de las sustancias que se encuentran originalmente en estado sólido o gaseoso, para empezar, porque las disuelven). Al disolverse, una sustancia muestra propiedades diferentes a las que poseía sólida o gaseosamente. Por ello, los disolventes pueden equipararse con los instrumentos en su condición de aislar una propiedad (Cerruti, 1998). En este sentido, los gases y el aire mismo funcionan como disolventes, permitiendo o inhibiendo la formación de determinados productos químicos. Experimentar, de acuerdo con Hacking (1983) “es crear, producir, refinar y estabilizar fenómenos”, lo cual indica que la síntesis de una determinada sustancia química se logra en un disolvente, pero no en otro diferente. De ello se desprende una importante caracterización (Cerruti, 1998):

Los fenómenos son generalmente aceptados, y filosóficamente discutidos, como los objetivos y el resultado del experimento en física, en general, las sustancias son los objetivos y los resultados de las prácticas experimentales más importantes en química.

Podemos definir qué es un experimento químico (Chamizo, 2013a), que lo separa claramente de los experimentos realizados en las otras ciencias:

El experimento químico crea, en un aparato, un fenómeno (sustancia) utilizando como instrumentos (capaces de aislar físicamente las propiedades de las entidades que queremos usar y/o conocer) disolventes y reactivos específicos.

¹ De acuerdo con la ACS, se tienen registradas 73 429 612 sustancias sintetizadas, orgánicas e inorgánicas a la fecha (25 de septiembre de 2013).

2.2 SOBRE LA DIDÁCTICA

La mayoría de las 73 429 612 sustancias diferentes (identificadas en el Chemical Abstracts hasta septiembre de 2013) cumplen con esta condición.

Probablemente, debido al papel constitutivo que juega la experimentación en Química, como ha sido señalado en el apartado anterior, también en la educación química el trabajo experimental tiene un rol fundamental, y casi nadie duda de su relevancia en la enseñanza de esta ciencia. Las razones para llevar a cabo enseñanza experimental son variadas; investigaciones (Camaño, 2003; Hodson, 1994) han mostrado que algunas de las razones más comunes son: motiva al estudiante, promueve la comprensión de los conceptos, proporciona experiencia en el manejo de instrumentos y técnicas, permite acercarse a la metodología y procedimientos de la indagación científica, constituye una oportunidad para el trabajo en equipo y el desarrollo de actitudes científicas.

Resalta, sin embargo, que en las universidades modernas la teoría se enseña de manera aislada de la práctica; las materias experimentales tienen menos peso en la evaluación de los alumnos y son consideradas por muchos como menos importantes. También hay investigaciones recientes que muestran que el trabajo en el laboratorio, como se lleva a cabo actualmente, dista mucho de conseguir los objetivos que se propone (Abrahams y Millar, 2008; Cooper, 2005).

Los aspectos económicos del trabajo experimental, la disponibilidad de espacios, la seguridad de los estudiantes son todos factores que también pueden contribuir a esta situación. En los últimos años ha habido llamadas de atención respecto a la relevancia del trabajo experimental para el aprendizaje de los estudiantes (Hodson, 1994), y autores como Lagowsky (1990, p. 541) aseguran que “se ha permitido que las experiencias del laboratorio –el corazón de cualquier ciencia– degeneren hasta convertirse en ejercicios rutinarios, diseñados para consumir un aprendizaje mínimo”.

Por otro lado, el debate sobre los procesos de aprendizaje se ha extendido hacia el trabajo práctico en todas sus modalidades (Woolnough, 1985; Barbera, 1996; Izquierdo, 1999; Psillos, 2002; Chamizo, 2004), y que en Química apela fundamentalmente a la experimenta-

ción. Dos de sus resultados más interesantes han sido, en primer lugar, reconocer que el propósito fundamental del mismo, en la enseñanza de las ciencias, es permitir que los alumnos relacionen el complejo mundo real presente con el de los conceptos construidos a lo largo de la historia (Figura 2). De esta manera, los trabajos prácticos son los referentes fenomenológicos indispensables para que los estudiantes interactúen con los procesos o fenómenos naturales y para que, a través de esto, desarrollen los procesos cognoscitivos complejos, que les lleven a conformar sus representaciones y conceptualizaciones, con las que haga posible el aprendizaje de los conceptos científicos.

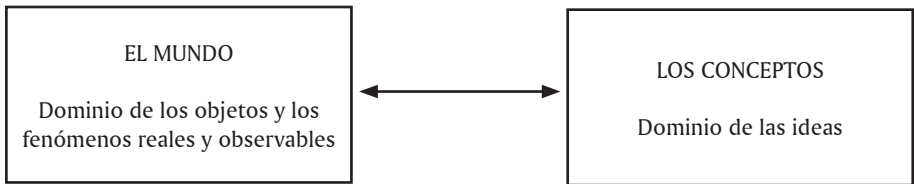


Figura 2. El propósito fundamental del trabajo práctico: permitir que los alumnos establezcan relaciones entre el mundo real y los conceptos.

En segundo lugar, ha sido el replantearse la arbitraria distinción entre teoría, prácticas de laboratorio y problemas como algo tan diferente en la enseñanza de las ciencias que dichas actividades son impartidas a menudo por distintos profesores (Gil, 1999). Del mismo debate ha surgido un limitado acuerdo sobre los objetivos fundamentales que se persiguen al realizarlo y que aparecen como centrales en la enseñanza de las ciencias. Dichos objetivos se concretan en otras tantas actividades y son:

1. **Ejercicios prácticos.** Diseñados para desarrollar técnicas y destrezas específicas (prácticas, intelectuales o de comunicación) o para realizar experimentos que ilustren o corroboren la teoría.
2. **Experiencias.** Proponen que los alumnos tomen conciencia de determinados fenómenos del mundo, ya sean naturales o artificiales. Pueden ser experimentos ilustrativos, que expliquen un principio, una relación entre variables.

3. **Investigaciones.** En las que los estudiantes deben resolver un problema (para ser problema debe ser “abierto”, a diferencia de los ejercicios que son “cerrados”).

Destaca que un mismo fenómeno puede abordarse desde cualquiera de estas actividades y por lo tanto cumplir sus objetivos.

Los *ejercicios prácticos* son uno de los recursos más comunes del trabajo experimental. A pesar de su valor educativo restringido, representan para muchos docentes el paradigma de la enseñanza experimental: medir; clasificar plantas, animales, minerales; construir circuitos eléctricos; utilizar pruebas de ensayo para identificar diversos materiales, entre otras actividades. Aquí debemos colocar también el aprendizaje de las técnicas necesarias para utilizar instrumentos (microscopios, multímetros, cromatógrafos, etcétera, y como ya se dijo antes, también disolventes), equipos de microescala o los procedimientos para capacitar en seguridad o separar los residuos producidos en los laboratorios de enseñanza. Los ejercicios prácticos también se utilizan comúnmente para ilustrar la teoría, haciendo énfasis en la determinación experimental de propiedades, o en la relación entre variables, o bien, para desarrollar algunas destrezas intelectuales, como la emisión de hipótesis y el diseño de experimentos; o de comunicación, como el planteamiento de un experimento por escrito, o el informe de una salida a campo (Camaño, 2003).

Las *experiencias* buscan que los estudiantes tomen conciencia de los fenómenos, pueden ser realizadas por el profesor en lo que se conoce como *experiencias de cátedra* o por los propios alumnos. Algunos ejemplos son: observar las estrellas u organismos vivos, ya sea en el laboratorio o en el campo, o las ondas en una cubeta, quemar magnesio, disolver un metal en un ácido, comparar la dureza o la elasticidad de diversos materiales. Las experiencias son interpretadas por los estudiantes y la forma en la que lo hacen, no siempre como quisieran los docentes, dio lugar a una importante corriente de investigación centrada en las ideas previas (Kind, 2004) o concepciones alternativas de los estudiantes. En general, las experiencias implican una aproximación cualitativa o semicuantitativa a los fenómenos físicos, químicos y/o biológicos.

El trabajo práctico de *investigación* (que podría también llamarse de *indagación*), aquel que más se parece a la propia investigación

científica, ha sido por sí mismo motivo también de intensas discusiones (Kirschner, 1988; Lewis, 2002; Caamaño, 2003; Berg, 2003; Chamizo, 2007b). Aquí se reconocen las ideas pioneras de Schwab (1962) sobre los “grados de libertad” las cuales le permitieron distinguir actividades en las que los alumnos únicamente seguían instrucciones hasta aquellas en las que ellos mismos tomaban decisiones. Se pueden reconocer investigaciones con distintos grados de apertura dependiendo de quién proponga el área de interés, la pregunta, la determinación de la forma en la que se resuelve, como se lleva a cabo y la manera en la que se interpretan los resultados. Evidentemente, la posibilidad de los estudiantes para hacer una investigación depende de la carga conceptual de ésta, de la claridad de la pregunta, del número de variables a controlar, de la complejidad de las medidas a realizar, y de la familiaridad que tengan los estudiantes con este tipo de trabajos.

Investigaciones sobre el tipo de trabajos desarrollados en el laboratorio, tanto en nuestro país como en el resto del mundo (por ejemplo, Psillos y Niedderer, 2002), permiten confirmar que los trabajos más comunes en el laboratorio (desde la secundaria hasta la educación superior) son los ejercicios prácticos, aquellos en los que los estudiantes se organizan en parejas o en grupos pequeños para trabajar con materiales, siguiendo instrucciones muy precisas acerca de los métodos y los análisis que deben realizar. Estas instrucciones, generalmente se encuentran en un manual o en un documento que el profesor o profesora entregan a los estudiantes.²

Puede parecer sorprendente que los proyectos o investigaciones sean difíciles de encontrar, particularmente en los dos primeros años del trabajo universitario, lo cual podría implicar que los estudiantes no encuentran en el laboratorio un espacio para desarrollar destrezas, habilidades, y actitudes relacionadas con la investigación científica. De hecho, Cooper (2009) sostiene que “los laboratorios de química básica desperdician una oportunidad de oro de mostrar a los estudiantes

² El aprendizaje basado en problemas (ABP) puede considerarse dentro de esta modalidad (Robles, 2008; *Educación Química* 2005, 16[2]).

cómo se hace ciencia” y, en general, el trabajo que se pide a los alumnos busca ilustrar algún principio químico, más que proponer un problema atractivo, convertido en un espacio que permita aprender Química. De acuerdo con Hofstein y Walberg (1995) es en la indagación o investigación en el laboratorio donde los alumnos se involucran más en el proceso científico, planteándose preguntas, formulando hipótesis, diseñando experimentos, recopilando y analizando datos, modelando conclusiones acerca de problemas o fenómenos científicos, y ésta es una oportunidad que muy pocos tienen en sus primeros años de formación universitaria.

De hecho, puede decirse que la forma cotidiana como se desarrollan las actividades experimentales en los laboratorios universitarios tiende a confirmar la idea de que la ciencia es un cuerpo de conocimientos que debe memorizarse, comprobarse o ilustrarse mediante los ejercicios prácticos; nada más alejado de aquello que se supone se quería enseñar a estudiantes que inician su vida universitaria en una facultad de ciencias. Algunos investigadores (Gil *et al.*, 1991; Payá, 1991; Hodson, 1992 y 1994; González, 1994; Séré, 1998; Séré *et al.*, 2001; Tiberghien *et al.*, 2001; Cooper y Kerns, 2006) opinan que estos ejercicios consisten en una simple observación de un fenómeno, y que se realizan de acuerdo con una serie de pasos estrictamente estipulados (lo que se denomina “receta”). En este caso el experimento se reduce a la reproducción de un fenómeno en condiciones controladas, a la realización de mediciones y cálculos que en el mejor de los casos sólo posibilitan el procesamiento de los datos según ciertas instrucciones, dejando a un lado las hipótesis que subyacen a las observaciones y experimentos, restringiendo la posibilidad de diseñar las actividades experimentales y de resolver las dificultades que surjan en su desarrollo, el examen crítico de los resultados obtenidos, y toda la imaginación y creatividad que ello implica.

Son muchos los profesores universitarios que conciben el laboratorio como un espacio en el que se “refuerza la teoría” o donde los estudiantes pueden “ver los conceptos”. Sin embargo, la investigación ha demostrado que en el nivel universitario (y preuniversitario) las calificaciones en exámenes estandarizados de Química no son muy distintas para aquellos estudiantes que han cursado el laboratorio y aquellos que no lo han hecho (Cooper, 1994; Hodson, 1994). Por otro lado, es

importante considerar que las prácticas de laboratorio por sí solas no muestran mucho; se necesita una cuidadosa elaboración del experimento para que finalmente los alumnos aprendan a teorizar, y puedan disfrutar de la maravillosa simplificación del mundo que son las teorías científicas, y utilizarlas para comprender un poco más algunos de los fenómenos cotidianos, incluso para comprenderse mejor ellos mismos y la sociedad en la que viven. Pero lo anterior, por supuesto, requiere de una clarificación de los objetivos de los trabajos experimentales, que depende de la concepción que se tiene de cómo se hace ciencia y de cómo se puede aprender ciencia en un ámbito escolar.

En todas las modalidades del trabajo práctico o experimental subyace una premisa básica, la enseñanza experimental es muy importante y lo es en la medida en la que interactuamos “ordenadamente” con la realidad. No todos la comparten. En estos tiempos, en los que una buena parte de nuestra vida se desarrolla en espacios virtuales, y en el que tantos suponen que la Química puede enseñarse a través de una pantalla de computadora, porque es más segura (no hay olores desagradables, ni imprevistos, ni desechos), más burocrática (todas las prácticas acaban a tiempo) y sobre todo más barata, vale la pena recordar las palabras del profesor exiliado español F. Giral, quien escribió en una monografía para la Organización de Estados Americanos (Giral, 1969, pp. 7 y 8):

Si los profesores engañan a los alumnos enseñándoles en teoría lo que no se puede hacer en la práctica, si los alumnos engañan a los profesores demostrando perfectamente cálculos teóricos sin poder llevar a la práctica las reacciones, si las autoridades docentes engañan a los dirigentes de la sociedad cumpliendo con una enseñanza teórica barata sin poder gastar lo que hace falta para una enseñanza práctica, si los administradores públicos engañan a los encargados de dar enseñanza exigiendo que sea barata sin aportar los recursos adecuados, entonces, todo lo anterior y todo lo demás sobra.

En cuanto a la enseñanza de la química, el engaño mayor en que se puede incurrir es el de creer que se puede aprender química en el pizarrón o en el papel sin la experimentación correspondiente. Mientras no se tenga una conciencia clara, por parte de todos, de que la química se aprende manejando experimentalmente las sustancias químicas será muy difícil progresar en serio. Esa manipulación experimental debe ir combinada con el estudio teórico en la mayor armonía posible, y debe quedar perfectamente

claro, sin que ninguno nos llamemos a engaño, que sólo con lecciones teóricas no se puede enseñar química.

La ficción mayor y de más trágicas consecuencias, en cuanto a la enseñanza de la química, consiste en hacer creer al público, a los docentes y a los estudiantes que se da una enseñanza gratuita o muy barata cuando no se gasta lo que hace falta gastar para costear una adecuada enseñanza experimental. Semejante ficción sólo tiene su complemento en el engaño que suelen hacer los docentes a los administradores públicos, aceptando que enseñan química en forma gratuita o barata, porque hacen una enseñanza teórica –barata– con una muy deficiente enseñanza experimental –costosa–; la enseñanza que así se ofrezca será gratuita o barata, pero no será enseñanza.

¿Cómo puede modificarse el enfoque de los laboratorios para permitir el “diálogo entre el fenómeno natural y el que investiga”, y que se considera fundamental tanto para “hacer química” como para “aprender química”? ¿Puede el laboratorio universitario convertirse en un espacio donde los estudiantes desarrollen las estrategias de pensamiento que se esperan de alguien que está entrenándose como científico? Y si es así, ¿qué se requiere del laboratorio?, ¿qué podemos aprender de las experiencias que se han tenido en la Facultad de Química?

2.3

SOBRE LA EVALUACIÓN

Dicen Rodríguez *et al.*, (1992) que “cualquier intento de la mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje, está condenado al fracaso –a la falta de operatividad– si no va acompañado paralelamente de un perfeccionamiento de los modelos y técnicas de evaluación”. Por lo tanto, si nos interesa mejorar la enseñanza, consideramos entonces que se deben plantear nuevas alternativas también en las estrategias de evaluación.

Etimológicamente, el término *evaluación*, significa “determinar el valor de alguna cosa”. La evaluación forma parte del proceso de enseñanza-aprendizaje y su función es apoyar al aprendizaje y proporcionar información sobre si se han alcanzado los objetivos previstos, y de regular, ajustar, mejorar, motivar, reforzar, orientar, certificar, seleccionar, etcétera, el proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, la

evaluación es vista por los docentes como una forma de calificar, la que generalmente se define como “medir la capacidad y el aprovechamiento de los estudiantes, asignándoles una puntuación que sirva de base objetiva para promociones y selecciones” (Sánchez *et al.*, 1996). Lo que conlleva a los docentes de ciencias a considerar como “sencillo” evaluar con objetividad y precisión, de tal forma que incluso se presta para discriminar a los alumnos diciendo que las ciencias no están al alcance de todo el mundo (Sánchez *et al.*, 1996). Dicen que la evaluación debe ser considerada como un instrumento de aprendizaje más que como una herramienta para asignar calificaciones, de tal forma que pueda ser percibida por los alumnos como una ayuda real, generadora de expectativas positivas. En este sentido comentan que la evaluación debe incidir en: el aprendizaje (favorecerlo), la enseñanza (contribuir a su mejora) y el currículo (ajustarlo al interés y provecho de los estudiantes).

En la literatura especializada, se reportan diversos tipos de evaluación: diagnóstica, formativa, formadora, sumativa, entre otras. A continuación presentaremos una breve descripción de cada una de ellas.

La **evaluación diagnóstica** permite conocer cuál es la situación de los estudiantes, sus necesidades, perfiles, conocimientos previos, entre otros, así como valorar las competencias y dificultades, al principio de un curso o de un tema, con el fin de organizar las estrategias de enseñanza. Al mismo tiempo permite que los estudiantes tomen conciencia de sus fortalezas y debilidades.

La **evaluación formativa** tiene lugar durante todo el proceso de aprendizaje y su función es, principalmente, apoyar dicho proceso, así como reorientar o modificar las intervenciones pedagógicas. Al alumno le brinda información acerca de sus dificultades y le ayuda a comprender, interpretar y corregir sus errores. Todas las intervenciones de éste (con el profesor, con otros estudiantes, con el material didáctico) son oportunidades de evaluación (o autoevaluación) que, según Hodson (1992) le permiten al docente diagnosticar las fortalezas y debilidades de sus estudiantes, así como los aprendizajes adquiridos y las concepciones alternativas, con el objeto de planear su enseñanza para lograr mejoras en el proceso de aprendizaje. El principal objetivo de esta evaluación es entender las causas de las dificultades que se presentan en el proceso de aprender para ayudar a superarlas.

Según Allal, Cardinet y Perrenoud (1979) “el objetivo [de la evaluación formativa] es ofrecer una guía individualizada durante el aprendizaje, más que un remedio a *posteriori*”.

Nunziante (1990) define a la **evaluación formadora** como aquella que realiza el estudiante y que le permite construir un modelo personal de acción. Se distingue de la evaluación formativa, en que es “el mismo estudiante quien debe responsabilizarse de su circuito de aprendizaje y de la gestión de sus errores y de sus éxitos” (Sacallón, 1982). Para ello el estudiante debe aprender a autoregularse y autoevaluarse con el objetivo de que, poco a poco, construya un sistema propio y autónomo para aprender, y lo mejore progresivamente.

En el marco de los modelos constructivistas, el estudiante es el actor principal de su aprendizaje, por ello, consideramos que también lo debe ser de la evaluación del mismo.

La **autoevaluación** es un tipo de valoración formadora que le permite al estudiante hacer una reflexión metacognitiva, reconocer y aceptar sus errores sin menoscabo de su autoestima, y le da tiempo para trabajar sobre sus dificultades.

Según Chamizo (1997) “La autoevaluación responde claramente al proceso y no al fin de la evaluación y le permite al alumno, cuando se responde correctamente, ir incrementando su autonomía así como el control sobre su propio aprendizaje. Al profesor le permite reconocer, junto con el alumno y cuando es necesario, aquellos aspectos que hay que trabajar para mejorar”.

Según Pttenger (1990) en Tamir (1999), algunas de las ventajas de la autoevaluación son las siguientes:

- a. Cuando los estudiantes son invitados a revelar sus deficiencias, no se sienten amenazados.
- b. Es una oportunidad para que los estudiantes se involucren en su propia evaluación.
- c. Los alumnos pueden comparar su propia evaluación con la del profesor.

- d. Permite obtener un registro detallado del progreso.
- e. Favorece la regulación del proceso de enseñanza aprendizaje.

Sanmartí (2002) dice que autoregular el aprendizaje está íntimamente relacionado con la capacidad de aprender. De igual forma, la autorregulación conlleva un proceso de metacognición reguladora, la cual implica que el estudiante tome conciencia de las actividades cognitivas que realiza y de sus resultados; emita juicios sobre sus razonamientos y tome decisiones para modificarlos.

En este sentido, la **evaluación por pares** es la evaluación de los trabajos de los estudiantes por ellos mismos; lo que es muy importante porque les permite la oportunidad de emitir juicios críticos sobre ellos y sobre los que les rodean.

La **evaluación sumativa** proporciona información de los niveles alcanzados por los estudiantes en todos los aspectos del curso al final del mismo. Además de que, con ella, los profesores pueden tomar una decisión de orientación o de selección en función de lo adquirido.

Según Sanmartí y Alimenti (2004) detrás de cada modelo didáctico existe una concepción de la ciencia y del aprendizaje, concepción que se refleja en todos los aspectos del proceso y, por supuesto, en la evaluación que se realiza.

Dada la temática de este libro, nos enfocaremos en la evaluación de los trabajos prácticos, sin dejar de mencionar la valoración de todos los aspectos involucrados en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para asegurar que se promueve un trabajo práctico que sea útil para los estudiantes y provea una experiencia de aprendizaje efectivo, es necesario introducir una clase especial de evaluación. Dicho de otra forma, si se establece un trabajo de laboratorio efectivo, se requiere también un esquema de evaluación riguroso que se enfoque en el tipo de actividades de laboratorio que nosotros valoramos (Hodson, 1992). Según este autor, las funciones de la evaluación del laboratorio deben ser: sumativa, formativa y formadora.

Si se establece un buen sistema de evaluación para el trabajo práctico, es necesario asegurar que todas las funciones hayan sido logradas

de manera satisfactoria y que cada una de ellas se relacione con los objetivos claramente articulados para la educación en ciencias en general y el trabajo de laboratorio en particular. Según Hodson (1992), hacer ciencia es una actividad holística y la evaluación, por tanto, también debe ser serlo.

Asimismo, Tamir (1992) considera que el trabajo de laboratorio es muy adecuado para desarrollar habilidades motoras, intelectuales, investigadoras y comunicativas. Lo que Izquierdo y Chamizo (2007) llaman competencias de pensamiento científico. Tamir y Lunetta (1978) desarrollaron un “inventario” de análisis de las actividades de laboratorio, en el que toman en cuenta otros criterios para evaluar como la planificación y diseño del trabajo, la realización, el análisis y la interpretación y lo que llaman aplicación en donde incluyen la capacidad para realizar predicciones, la formulación de hipótesis y si se plantea la posibilidad de continuar con la investigación.

Según Gil y Martínez Torregrosa (2005) es deseable que la evaluación se convierta en un instrumento de aprendizaje. Para alcanzar ese objetivo, proponen que la evaluación tenga las siguientes características:

- Los estudiantes deben percibirla como ayuda real, generadora de expectativas positivas.
- Debe contemplar los aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales del aprendizaje de las ciencias. En este sentido, es importante tomar en cuenta que sólo aquello que es evaluado es percibido por los estudiantes como importante.
- La evaluación será continua a lo largo de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Es importante que los estudiantes tengan la oportunidad de reconocer y valorar sus avances, de rectificar sus ideas y de aceptar sus errores.

Instrumentos de evaluación

Es importante reconocer que, como profesores, generalmente hacemos uso sólo de la evaluación sumativa; es decir, nos interesa mucho más la calificación final que el proceso a seguir para alcanzar ese número. Para realizar los otros tipos de evaluación discutidos anteriormente, es necesario hacer uso de instrumentos específicos (Chamizo y Hernández, 2000) como los que se describen a continuación:

■ *Mapas conceptuales*

Los mapas conceptuales (MC) fueron desarrollados por Novak y Gowin (1984) con el objetivo de “representar relaciones significativas entre conceptos en forma de proposiciones”, para dirigir la atención del aprendiz hacia aquellas ideas importantes en las que deberían enfocar su aprendizaje. Sin embargo, los MC dependen de cómo cada individuo relaciona estas ideas, dada su propia estructuración del conocimiento. En este sentido, los MC pueden ayudar a descubrir la estructura cognitiva de los estudiantes permitiéndoles, a través de un conocimiento declarativo que parte de sus conocimientos previos y sus ideas alternativas, representar los aspectos cualitativos de su aprendizaje (Edmondson, 1999). También pueden ser utilizados por los estudiantes como herramientas de estudio y por los docentes para facilitar el aprendizaje, mejorar sus estrategias de enseñanza o facilitar la planeación.

Los mapas conceptuales son considerados como herramientas que facilitan la metacognición, permiten entender los contenidos y los procesos de un aprendizaje significativo. Asimismo, son las herramientas que representan las interrelaciones jerárquicas que se dan entre los conceptos. Esta jerarquización está basada en la capacidad declarativa de los estudiantes, ya que los conceptos están relacionados unos con otros a través de conectores, los cuales son pequeñas frases que, al estar en medio de dos conceptos, ayudan a formar oraciones. La idea de Novak y Gowin para desarrollar los MC estuvo basada en gran medida en la teoría de asimilación, es decir, construyeron los MC de tal forma

que permitieran explicitar las relaciones entre los conceptos y sirvieran como un organizador avanzado de los aprendizajes (ver ejemplo en el Anexo 5.1).

En el caso del uso de los MC como herramienta de evaluación, Edmondson comenta que pueden ser utilizados en la evaluación formativa y en la sumativa. Las razones que expone son: permiten a los docentes evaluar los atributos del conocimiento declarativo de los estudiantes (como su estructura, elaboración, validez y complejidad), por lo tanto pueden ser utilizados como exámenes, pero también como herramientas para documentar el cambio de conocimientos y comprensión de los estudiantes, es decir, registrar cómo evoluciona el conocimiento en la mente de los aprendices; así como determinar los grados de correspondencia entre los mapas de los estudiantes y los mapas de los expertos. También sirven para que los alumnos reflexionen sobre su aprendizaje, sus errores, y sus ideas alternativas, es decir, se autoevalúen. Sin embargo, el proceso que conlleva que los estudiantes aprendan a construir los mapas conceptuales requiere de tiempo y dedicación, tanto por parte de los docentes como de los alumnos. Es por ello que se recomienda su uso desde el inicio del ciclo en el cual se van a utilizar. Un buen *software* para elaborar mapas conceptuales es el CmapTools diseñado por el Institute for Human and Machine Cognition (IHMC), el cual se puede obtener gratis de la red en la siguiente dirección <http://cmap.ihmc.us/>

■ UVE Heurística

Este instrumento también fue desarrollado por Gowin (1970) y descrito por Novak y Gowin en su libro *Aprendiendo a aprender* (1984). La UVE heurística fue desarrollada para facilitar la comprensión de un problema o para entender un procedimiento; específicamente problemas o procedimientos relacionados con el trabajo de laboratorio en ciencias. Esta estrategia deriva de una serie de preguntas desarrolladas por Gowin para “desempaquetar el conocimiento”. Este “desempaquetamiento” desglosa el problema que se desea resolver, los conceptos o ideas relacionados, los procedimientos de investigación que ayudarán a resolverlo, las principales respuestas y los posibles juicios de valor que

se deriven de la resolución del problema. La UVE heurística considera principalmente cuatro aspectos fundamentales: pregunta central (sobre el problema que se desea resolver); aspectos conceptuales (que en este caso tienen que ver no sólo con los conceptos *per se* sino también con cómo éstos son relacionados en la mente del individuo y cuál es la visión del mundo que surge a partir de estos conceptos); aspectos metodológicos (donde se considera no sólo un procedimiento experimental, también se espera que el estudiante plantee resultados, explicaciones, conclusiones, juicios de valor, etc.); finalmente los fenómenos a los cuales se dará respuesta con la pregunta central (ver ejemplo en el Anexo).

En cuanto a su utilidad en evaluación podemos decir que la UVE Heurística puede llegar a ser una herramienta fundamental, puesto que permite hacer no sólo una evaluación sumativa, también permite que el estudiante realice una regulación de sus aprendizajes. Esto es, se diseñan una serie de preguntas simples que permitan la evaluación a través de un determinado puntaje; de hecho Novak y Gowin (1984) hacen una propuesta de evaluación en su libro (ver **Cuadro 1**). En lugar de solicitar al alumno que realice un informe tradicional sobre su trabajo en el laboratorio en donde se les piden objetivos, hipótesis, marco teórico, etc., los cuales en algunas ocasiones se vuelven imposibles de leer cuando los grupos son grandes, es mucho más sencillo pedirles que entreguen una UVE Heurística, la cual ya ha sido previamente autoevaluada por los estudiantes y su estructura facilita la evaluación por parte del docente.

Cuadro 1. Ejemplos de puntaje para dos secciones de la UVE Heurística, propuesta por Gowin.

<i>Pregunta Central</i>	Puntos
No se identifica ninguna pregunta central	0
Se identifica una pregunta central, pero no se trata de los objetos y del acontecimiento principal ni sobre la componente conceptual de la UVE.	1
Se ha identificado una pregunta central que incluye conceptos, pero no sugiere los objetos o el acontecimiento principal, o se han identificado objetos y acontecimientos erróneos en relación con el resto del ejercicio de laboratorio.	2
Se ha identificado claramente una pregunta central que incluye los conceptos que se van a utilizar y sugiere los acontecimientos principales y los objetos correspondientes.	3

Acontecimientos / Objetos	
No se han identificado acontecimientos ni objetos.	0
Se ha identificado el acontecimiento principal o los objetos y ambos son consistentes con la pregunta central, o se ha identificado un acontecimiento y varios objetos pero son inconsistentes con la pregunta central.	1
Se ha identificado el acontecimiento principal (con los objetos correspondientes) y es consistente con la pregunta central.	2
Igual que el caso anterior, pero también se sugiere cuáles son los datos que se van a registrar.	3

Para que el alumno lleve a cabo la autoevaluación, es indispensable que entregue la UVE junto con la puntuación que él considera tiene con base en la tabla de puntuaciones. De esta forma, cuando el docente le regrese el diagrama revisado podrá llevar a cabo una autorregulación y reflexionar en dónde debe mejorar. De esta forma se cumplen con los tres aspectos de la evaluación: sumativa, formativa y formadora. El diagrama UVE, según su creador, “resulta ser una manera esquemática para poner de manifiesto lo que comprenden los estudiantes acerca de un tema o un área de estudio, y también le ayuda a organizar las ideas y la información”.

Una variación a la propuesta de Gowin fue elaborada por Chamizo e Izquierdo (2007) a partir de la idea de Toulmin (1972) de que “la ciencia avanza a través de la resolución de problemas”. Con esta premisa en mente, estos autores proponen un instrumento para evaluar las competencias científicas desarrolladas por los estudiantes cuando resuelven problemas. En este sentido plantean la necesidad de que tanto los docentes como los alumnos aprendan a hacer preguntas que puedan ser contestadas a través de una investigación. Además, remarcan la dificultad que representa para un estudiante elaborar un diagrama UVE.

A este “nuevo” instrumento los autores le han llamado “**Diagrama Heurístico**” (Cuadro 2) y ya han sido reportados valiosos resultados de su uso en diversos ámbitos (Colsa y Chamizo 2009; Chamizo 2011; Chamizo y García-Franco, 2013). Destaca que trabajar con cualquiera de estas herramientas es mucho más sencillo si se utiliza una estrategia de enseñanza experimental a través de la indagación, ya que permite, de una forma sencilla, enseñar a los alumnos a plantear preguntas y desarrollar posibles estrategias experimentales para contestarlas, es decir, se fomenta desde temprano el proceso de indagación científica.

Cuadro 2. Instrucciones para completar un diagrama heurístico.

Diagrama Heurístico sobre: (Tema de la investigación)		Pts
HECHOS (Información obtenida y/o observaciones realizadas respecto a algo que sucede en el mundo que nos lleva a formular una pregunta. Preferentemente deben de identificarse varios de ellos)		
PREGUNTA (Enunciado de una pregunta centrada en los hechos. Hay que asegurarse que sea una sola y única)		
CONCEPTOS	METODOLOGÍA	0
Aplicaciones (Usos que tiene el tema que se investiga)	Procedimiento para la obtención de datos (Lo que hacemos para obtener la información pertinente para contestar la pregunta. Hay que precisar y detallar)	
Lenguaje (Términos que se requieren para responder la pregunta)	Procesamiento de los datos para obtener un resultado (Manejo de datos y resultados en tablas, gráficas, diagramas, etc., que resumen los datos obtenidos)	
Modelo (Modelo que se usa para dar la respuesta a la pregunta. Puede ser científico, económico, social, etc. Por ejemplo modelo atómico de Lewis, modelo de acidez de Arrhenius, modelo de mercado, modelo de aprendizaje constructivista, etc.)	Análisis y/o conclusión derivado de los datos (Se refiere únicamente a lo obtenido a partir de los datos procesados)	
RESPUESTA O RESULTADO (Una vez elegida una respuesta o un resultado se refiere a la explicación que responde a la pregunta reuniendo los conceptos con la metodología o a las razones por las cuales el experimento falló, o no se puede contestar la pregunta)		
REFERENCIAS (Libros, artículos de revistas, páginas web, etc., consultados y utilizados en cada parte de la investigación) De los hechos: De los conceptos: De la metodología:		
Autoevaluación (total de puntos)/20 puntos posibles (Sumar todos los puntos obtenidos y compararlos contra los posibles)		

■ *Herramienta heurística para escribir ciencias*

Greenbowe y Hand (2005) proponen lo que llaman *escritura heurística* en ciencias como un método para aprender ciencias. Esto requiere de una serie de etapas que guían las actividades o los experimentos que realizan los estudiantes.

La evaluación del desempeño, dicen Champagne y Kouba (2000), es una herramienta poderosa para los educadores en ciencias que buscan dar a los estudiantes la oportunidad de investigar. Debido a que ni el proceso de aprendizaje ni los resultados de tal proceso son directamente observables, los profesores utilizan las explicaciones orales o escritas de los alumnos para inferir sobre su aprendizaje.

Ellos escriben sus afirmaciones y las comparan con las evidencias, proceso que mejora el razonamiento de cada estudiante acerca de los datos obtenidos. Lo más importante de esta metodología es que los alumnos son motivados a discutir, debatir y negociar sus aprendizajes en el área de la Química. La plantilla para realizar un informe de laboratorio promueve la formulación de preguntas, afirmaciones y permite mostrar las evidencias que apoyan dichas afirmaciones. También se promueve la comparación de sus hallazgos con los encontrados en la literatura o con los de sus mismos compañeros. Una parte importante que se destaca es la reflexión que se realiza, en donde los estudiantes piensan en cómo han cambiado sus propias ideas durante la actividad experimental. Estos autores mencionan que han obtenido mucho mejores resultados con esta metodología que si únicamente les piden una reflexión en una sección de su informe de laboratorio. Una de las habilidades que se desarrolla es la elaboración de mejores preguntas.

Escribir es un importante componente del lenguaje y del aprendizaje de las ciencias (Burke y Greenbowe, 2006). Sin embargo, la escritura en las aulas de ciencias no se utiliza con propósito de reflexión. Cuando una tarea se estructura para promover el desarrollo del entendimiento conceptual, más que para sólo recordar hechos, se puede lograr una transformación importante, pues los conceptos de los que escriben los estudiantes pueden convertirse en una versión más rica y estructurada en comparación con la que se tenía antes de comenzar a escribir.

Elaborar preguntas, proponer hipótesis, explicar y formular ideas frente a sus pares durante las discusiones, son ingredientes necesarios para escribir y defender sus argumentos. En el siguiente cuadro se muestra la plantilla que se propone como guía para conducir el trabajo de los estudiantes.

Cuadro 3. Plantilla guía para los profesores.

Sección del informe	Categorías	Puntuación
Preguntas iniciales	¿Qué preguntas hice? ¿Cuáles preguntas decidió usar el grupo?	2
Medidas de seguridad	¿Qué medidas de seguridad generales debo tomar en este experimento? ¿Qué medidas debo seguir con algún reactivo o procedimiento específico?	2
	¿Qué hice realmente para realizar este experimento?	2
Datos, observaciones, cálculos y gráficas	¿Qué observaciones cualitativas realicé? ¿Qué datos cuantitativos recopilé? ¿Cuáles cálculos realicé para darle sentido a mis datos? ¿Cuáles ecuaciones balanceadas tengo que escribir? ¿Cómo preparé una gráfica adecuadamente “etiquetada” y titulada?	6
	¿Qué puedo afirmar para contestar mi pregunta inicial?	2
Evidencias y análisis	¿Cuál es mi interpretación de los datos (gráficas, tipo de datos, tendencias u otro análisis) para apoyar mis afirmaciones?	2
Lectura, reflexión y trabajo pos laboratorio	a. ¿Identifiqué las fuentes de error y suposiciones realizadas durante el experimento? b. ¿Cómo cambiaron mis ideas, qué nuevas preguntas tengo o sobre qué nuevas cosas puedo pensar ahora? c. ¿Cómo se relaciona este trabajo con los conceptos que he aprendido en clase? d. ¿Qué aplicación en la vida real está relacionada con este trabajo de laboratorio?	10

Después de trabajar con esta metodología, donde se promueve de manera importante la indagación, los estudiantes generan mejores preguntas, como lo menciona también Hofstein (2005), quien propone desarrollar un experimento siguiendo un protocolo y a partir de las observaciones realizadas, generar preguntas para que sean contestadas

por quien las formuló, a través de una actividad experimental. Esta segunda parte implica que realice el trabajo por indagación.

Esta estrategia de evaluación ha sido utilizada por algunos de los autores para evaluar un diplomado dirigido a profesores de educación básica. En el **Cuadro 4** se presentan algunas de las preguntas elaboradas por ellos como un ejemplo de lo que se puede obtener. Los profesores enunciaron las preguntas después de desarrollar el siguiente experimento: en una bolsa de plástico con cierre hermético, mezclar dos sólidos blancos y añadir 10 mL de una disolución colorida. Se observa un aumento muy grande de temperatura, la bolsa se infla y hay un cambio de coloración.

Cuadro 4. Preguntas formuladas por profesores de educación básica, después de realizar un experimento.

Preguntas de inicio <i>No productivas</i>	Buenas preguntas de inicio
¿Por qué se infla la bolsa?	¿Qué pasaría si añade una cantidad diferente de agua?
¿Por qué aumenta la temperatura?	¿El aumento de temperatura dependerá de la cantidad de sólidos reaccionantes?
¿Por qué hay un cambio de coloración?	¿Si se añade mayor cantidad de sólidos, se inflará más la bolsa?
¿Por qué reacciona el líquido con la mezcla de sólidos?	¿Si no se le añade la sustancia colorida, se inflará la bolsa de todas maneras?
¿Qué son los polvos blancos?	

■ **Portafolio**

El portafolio es una colección de trabajos que el estudiante ha realizado durante un cierto periodo escolar y de una asignatura determinada (Chamizo, 1996). Estos trabajos se guardan, ya sea en alguna carpeta, folder, caja, etcétera, dependiendo del contenido y periodo de tiempo. Según Tierney (1991), aunque no existe una sola forma de hacer un portafolio, se comparte la misma filosofía: debe promover la creatividad y la auto-reflexión de los estudiantes; estimularlos a trabajar en grupos para analizar, aclarar, evaluar y explorar su aprendizaje (citado por Quintana, 2004).

Según Quintana (2004), el diseño de los portafolios requiere considerar aspectos como los siguientes:

1. Determinar aquellas tareas que sean lo suficientemente importantes y necesarias para que los estudiantes las lleven a cabo, considerar qué es lo que queremos que aprendan.
2. Discernir si las tareas asignadas muestran sus capacidades reales y si son representativas de todos los procesos y productos del curso.
3. Fijar cómo evaluaremos este proceso, preguntándonos si estamos exigiendo lo suficiente y especificando los criterios de evaluación.
4. Analizar si estamos permitiendo a los estudiantes revisar, refinar, preguntar para alcanzar los estándares exigidos.
5. Distinguir si lo que esperamos del portafolio es acorde con el nivel del grupo, así como los criterios utilizados para el modelo y el procedimiento de tal forma que se asegure la uniformidad requerida para evaluar y calificar.

El valor del uso del portafolio radica en la necesidad de realizar una planificación sistemática del proceso de aprendizaje en el aula. En el portafolio se deben incluir materiales como diarios, bitácoras, cuadernos, comentarios sobre el trabajo, reflexiones personales, ideas sobre proyectos, investigaciones, grabaciones, videos, fotografías, ejercicios, exámenes, monografías, ensayos, modelos materiales, gráficas, evidencias del esfuerzo realizado para llevar a cabo las tareas del curso (tareas metacognitivas).

El contenido del portafolio puede variar dependiendo del curso y del docente. Se le pueden añadir o sustituir trabajos mejorados o revisados. Su evaluación depende del docente, puede calificar uno o varios trabajos, pero es muy importante que el estudiante revise lo que ha hecho y reflexione sobre esto y si lo haría mejor o no. Por lo que el portafolio es una herramienta que sirve principalmente para las evaluaciones formativa y formadora y dependerá de cada docente si también la hace sumativa.

■ *Herramientas para la autoevaluación*

Como se mencionó, la autoevaluación es una forma de involucrar a los estudiantes con su proceso de aprendizaje y resulta muy útil para saber de dónde debe partir el profesor para explicar un tema determinado. Un ejemplo de autoevaluación es el formulario KPSI (Knowledge and Prior Study Inventory), (Young & Tamir, 1977) el cual permite de una manera rápida y fácil efectuar una evaluación inicial. A través de este instrumento se obtiene información sobre la percepción que tienen los estudiantes de su grado de conocimiento, en relación con los contenidos cuyo estudio están por iniciar. Muchas veces, la puesta en común de los resultados, cuando se les pide que expliquen sus ideas, *les permite darse cuenta* que su idea inicial no era tan elaborada como ellos pensaban. Un ejemplo del cuestionario KPSI se presenta en el Anexo 5.1.

Según Tamir, este tipo de evaluación, que no requiere mucho tiempo y esfuerzo, propicia respuestas honestas por parte de los alumnos.

■ *Rúbricas*

Díaz Barriga (2006) las define como “guías o escalas de evaluación donde se establecen niveles progresivos de dominio o pericia relativos al desempeño que una persona muestra respecto de un proceso o producción determinada. Son escalas ordinales que destacan una evaluación del desempeño centrado en aspectos cualitativos, aunque es posible el establecimiento de puntuaciones numéricas”. Sin embargo, no deben confundirse con las listas de cotejo.

Las rúbricas o los registros de aprendizaje (Chamizo, 1996) deben definirse y consensarse con base en los aprendizajes esperados, e indicar el grado de desempeño de los alumnos; construidas así, permitirán a los docentes retroalimentar a los alumnos y a estos últimos autoevaluarse, con base en criterios comprensibles.

Según Siegel *et al.* (2011) las rúbricas pueden ser de dos tipos: específicas y generales. Las primeras ayudan a evaluar temas muy concretos, por lo que sólo podrán ser usadas en éstos. Las segundas pueden ser utilizadas más de una vez y son empleadas para evaluar características generales, además de que les permiten a los estudiantes darse cuenta de la calidad del trabajo que están realizando. Las rúbricas pueden ser utilizadas para clarificar los objetivos del aprendizaje, facilitar la comprensión de ideas complejas, así como fomentar que los estudiantes tomen riesgos intelectuales. En el Anexo 5.1. se presenta una rúbrica elaborada por un alumno del curso de Tópicos Selectos de Educación Química para evaluar una de las prácticas del laboratorio de química orgánica.

3 EXPERIENCIAS EN LA UNAM

Es difícil negar la importancia de la enseñanza experimental en la formación de los alumnos de las distintas carreras relacionadas con la Química en la UNAM. Todos los estudiantes de alguna de las áreas de la Química se han encontrado en su paso por la Universidad con distintas aproximaciones a la enseñanza experimental, que responden a las ideas pedagógicas de cada época, así como a la formación de quienes eran responsables de la enseñanza en ese momento.

¿Cuáles han sido esas aproximaciones para la enseñanza experimental?, ¿cuáles fueron las condiciones en las que se implantaron?, ¿cómo se fueron transformando a lo largo del tiempo?, ¿por qué se abandonaron?, ¿cuáles son las aproximaciones actuales para la enseñanza experimental en la UNAM?, ¿cuáles han sido las aportaciones de los distintos proyectos de enseñanza experimental a los proyectos actuales?

El Seminario de Investigación Educativa en Química (SIEQ) se ha propuesto recuperar la historia de la enseñanza experimental de la Química en la UNAM, en la voz de algunos de sus protagonistas. La intención es reconocer el camino recorrido y pensar, a partir de éste, el futuro de la enseñanza experimental en la Universidad. Así les solicitamos que nos relataran cuál fue la historia del proyecto en el que participaron considerando principalmente de dónde surgió, cómo se desarrolló, cuáles fueron sus aportaciones más destacadas, y cómo (si fuera el caso) concluyó, tratando de resaltar las luces y sombras que existieron a lo largo de su existencia. Adicionalmente nos pareció pertinente que cada texto fuera comentado por una persona que hubiera tenido una injerencia directa en la experiencia relatada, y/o que pudiera contextualizarla en un ámbito más general y/o identificar algunos puntos que parecieran necesarios.

Para recuperar la información que existe o existió sobre la enseñanza experimental en la Facultad de Química y analizar esta información a la luz de las propuestas didácticas actuales, evitando en lo posible repeticiones innecesarias, los temas elegidos por el SIEQ fueron cinco: *Química experimental aplicada* y le solicitamos a Javier Padilla su iniciador y a Eduardo Marambio su último coordinador que relatará la experiencia y que la comentará, respectivamente; *Ciencia básica* concebida original-

mente en la Facultad de Química pero cristalizada en la FES Cuautitlán, de donde nos relatan y comentan Margarita Gómez y Armando Sánchez; *Reforma de la enseñanza experimental*, a cuyo cargo a todo lo largo del proyecto explica Martín Hernández Luna y comenta Andoni Garritz; *Microescala*, que como una alternativa al enorme consumo de reactivos, y la entonces preocupación por la seguridad en los laboratorios desarrollaron Elizabeth Nieto, Miguel García y Rosa María González y que comenta Alejandro Baeza y finalmente *Seguridad y residuos*, donde Elvira Santos, Irma Cruz y Eva Lejarazo indican lo hecho en esta Facultad y Cristina Cortinas comenta desde la perspectiva nacional. Para realizar un balance de lo acontecido le solicitamos a Santiago Capella un texto adicional con el nombre *A manera de recapitulación*.

Como podrán reconocer los lectores, tanto los autores como los comentaristas fueron y son algunos de los protagonistas en el desarrollo e implementación de la enseñanza experimental de la química en la UNAM, gracias a todos ellos por su participación.

3.1 QUÍMICA EXPERIMENTAL Y APLICADA

JAVIER PADILLA
OLIVARES †

La Química es una ciencia en la que el trabajo experimental en el laboratorio juega un papel importante, no solamente por el “saber hacer”, sino para la comprensión del conocimiento teórico (el saber). El proceso de unificar ambos conocimientos le ha permitido avanzar, partiendo de la observación del conocimiento empírico, concepto que estuvo presente en la creación de la primera escuela de Química fundada en nuestro país.

Antes de 1916, la enseñanza de la Química sólo se realizaba en la Escuela de Medicina en los estudios de Farmacia y en la Escuela de Altos Estudios, ambas instituciones dependientes de la Universidad Nacional de México. Ninguna de las dos tenía un enfoque industrial.

La idea de la creación de una escuela de Química que impartiera los conocimientos científicos relacionados con la materia y que colaborara para transformar a México en un país adelantado, científico, industrial y manufacturero, fue concebida por el ingeniero Juan Salvador Agraz (García, 1985).

PRIMERA ETAPA: LA TÉCNICA

La materialización de esta idea fue en 1916 con la creación de la Escuela Nacional de Industrias Químicas, cuyo fin era preparar personal técnico para el ejercicio de las siguientes ocupaciones:

- I. Químicos Industriales (duración de los estudios: cuatro años)
- II. Peritos Industriales (duración de los estudios: tres años)
- III. Prácticos en Industrias (duración de los estudios: dos años)

Además, formaba obreros químicos y pequeños industriales. Para este fin se abrieron los cursos de perfumería, materias grasas, tanantes y curtientes, fermentaciones, aceites esenciales, resinas, petróleo. Además, se presentaron los planes de estudio para la formación de ingenieros químicos y doctores en química. Los primeros estudios serios en Ingeniería Química se llevaron a cabo hasta 1927 y para los segundos, pasaron más de 49 años para sus primeros egresados.

El reto y los problemas que implicaba arrancar la Escuela de Industrias Químicas eran enormes. Requería de una planta de profesores para enfrentar la enseñanza de los planes de estudio que fueron finalmente aprobados, después de haber sido rechazados los primeros por no haber presupuestado para ellos tal como se habían presentado a la Dirección de Enseñanza Técnica. Para suplir parcialmente estas carencias, Agraz donó su laboratorio particular a la recién nacida escuela, así como su biblioteca con la mayor parte de sus libros escritos en alemán, francés e inglés, y convenció al entonces Rector de la Universidad José Natividad Macías para que le cediera a la escuela el equipo que él, como profesor de Química de la Escuela de Altos Estudios, había pedido a Alemania, para implementar la enseñanza experimental en sus cursos. De esta forma las asignaturas y el equipo de Química de la Escuela de Altos Estudios pasaron a la Escuela Nacional de Industrias Químicas, que un año después renovó su nombre a Escuela Nacional de Química Industrial, cambio significativo al pretender enseñar las bases químicas de las industrias de este ramo, sin que éstas se localizaran en la Escuela, sin embargo, el objetivo de crear verdaderas industrias dentro de ésta no se modificó.

El inicio de las actividades académicas, el 22 de mayo de 1916 (García, 1985), fue con cursos breves a fin de propiciar el desarrollo de pequeñas industrias que permitieran mejorar las condiciones económicas de las familias, el que tuvo mayor éxito fue el de perfumería, al que se inscribieron 30 alumnas (de los 70 estudiantes fundadores de la escuela). Los talleres industriales, aún cuando para inscribirse a ellos no se requerían estudios preparatorianos, contaron con muy pocos alumnos y, debido a la carencia de equipo, la enseñanza inicial fue de pizarrón, lo que motivó que los profesores tuvieran gran dificultad para dar a entender a los alumnos las bases químicas.

A fines de 1917, las necesidades materiales para una enseñanza experimental se habían acrecentado y la vida académica y disciplinaria no se desarrollaba como era de esperarse, por lo que se emprendió una reorganización tanto en los alcances de estudios como de los servicios técnicos, cuya consecuencia fue la creación de los laboratorios de análisis cualitativo; análisis cuantitativo; análisis orgánicos y preparación de productos orgánicos e inorgánicos y uno de análisis especiales, que fueron el punto de partida para lograr una verdadera capacitación profesional, ya que los alumnos como mínimo deberían, bajo la estricta responsabilidad y vigilancia del maestro respectivo, realizar el trabajo experimental que se les asignaba, mismo que podía ser repetido tantas veces como fuera necesario hasta lograr los resultados deseados.

De este modo los futuros profesionales de la Química, bajo el antiquísimo método de ensayo y error podrían adquirir la habilidad en la manipulación de sustancias y equipos, que en esta ciencia tiene gran importancia, así como el sentido de responsabilidad y confianza en sí mismos.

Mientras tanto, los estudios de Farmacia de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional pasaron a la ahora llamada Facultad de Ciencias Químicas.¹

¹ La ley del 25 de diciembre de 1917, que estableció el Departamento Universitario y de Bellas Artes, incluyó a la escuela entre las facultades universitarias con el nombre de Facultad de Ciencias Químicas.

El 29 de junio de 1920, al ocupar la dirección el ingeniero Roberto Medellín,² reorganizó la Facultad, dándole una orientación científica y a la enseñanza experimental un carácter práctico por excelencia.

Se formularon los planes de estudio de tres carreras: Químico Técnico (tres años), Químico Farmacéutico (tres años) y Químico Metalúrgico (dos años) y se establecieron los talleres, organizados en forma de fábrica en donde los alumnos pudieran ejercitarse en prácticas industriales. Para reforzarlos, Medellín realizó gestiones ante el general Álvaro Obregón, presidente de la República, para que mediante acuerdos, pasaran a la Facultad aparatos, materiales y maquinaria pertenecientes a establecimientos del Gobierno, entre los cuales se encontraban la Dirección de Estudios Biológicos, el Departamento de Aviación, la Fundación Nacional de Artillería y el Departamento de Curtiduría y anexos.

El 24 de febrero de 1923, el presidente Álvaro Obregón inauguró solemnemente los nuevos departamentos industriales construidos en la Escuela.

En esta ocasión, en su discurso, el director Julián Sierra³ relató la situación en que se encontraban el edificio y el terreno que el Gobierno Federal había comprado para destinarlo a la Escuela de Industrias Químicas, señalando que la construcción de dos pisos, que escasamente cubría un área de 900 metros cuadrados, carecía de drenaje y de los más elementales servicios. Lo primero que se realizó cuando se entregaron las obras fue bardarlo. En el centro de la barda y coincidiendo con el eje central del edificio, se construyó una entrada de mampostería de tabique, de arquitectura sencilla, destinada para la entrada de alumnos, en el tímpano se puso la inscripción: “IX-22-1921 FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS”, entrada emblema que ha caracterizado a la escuela en Tacuba hasta nuestros días. En el extremo poniente se construyó otra entrada de cinco metros de claro, haciendo juego con la central, carente de la cubierta con arco, destinada a dar paso a un escape de vía de ferrocarril, con objeto de facilitar la carga y descarga

² Roberto Medellín fue director de la Institución de 1920 a 1921 y de 1929 a 1932, cuando dejó la dirección para ocupar la Rectoría de la Universidad Nacional Autónoma de México.

³ Julián Sierra ocupó la dirección de 1921 a 1924.

de materias primas y productos elaborados en los talleres, así como el petróleo y demás combustibles utilizados en los mismos. En el extremo oriente se construyó la tercera entrada destinada al acceso de los automóviles de los maestros. En las tres entradas se colocaron rejas de hierro.

Posteriormente, a fines de la década de 1920, Medellín, con la colaboración del ingeniero David López realizó el proyecto de las aulas, laboratorios y talleres industriales.

Sobre el terreno se construyeron los nuevos pabellones, aislados unos de otros con el objeto de tener luz y ventilación en todos sentidos, para cumplir con las necesidades de las industrias que en ellos se instalaron y de las cátedras de las carreras establecidas.

En pabellones de un piso, se instalaron las industrias de jabonería, aceites esenciales y taller mecánico y vidriería, al poniente del edificio principal. Las industrias farmacéuticas, metalúrgica y curtiduría al oriente. En dos pisos se construyeron los edificios para electroquímica, química general y bacteriología. Al poniente se construyó un laboratorio para experimentación y el de cerámica al oriente del edificio central.

En esa ocasión, el director señaló: “En la actualidad los alumnos, sea en sus laboratorios de análisis, sea en sus talleres industriales, hacen de una manera real y prácticamente todas sus operaciones, observan los fenómenos que se verifican y se preparan de una manera positiva para instalar las nuevas industrias, que no dudo transformarán a nuestra patria en un futuro próximo”.

La dirección de Medellín procuró que todas las clases tuvieran una parte experimental y cuando esto no fuera posible, como en las de bacteriología, las prácticas se realizaban en diferentes dependencias gubernamentales.

Con el objeto de que los alumnos practicaran los conocimientos adquiridos, se les enviaba a las llamadas “excursiones científicas” al terminar el año escolar; por ejemplo, un grupo de estudiantes de Química Mineral, permaneció durante seis días en la fábrica de cemento Cruz Azul en el estado de Hidalgo; otros fueron a Texcoco a las fábricas de vidrio y loza. Quienes habían terminado los estudios sobre petróleo

permanecieron dos meses en campos petroleros de la Huasteca Petroleum Co. Un grupo de Metalurgia estuvo tres meses en la fundición de Monterrey, otro en las minas y haciendas de beneficio en Pachuca, al Ingenio del Potrero fueron los alumnos de los cursos de Azúcar y Alcohol; los de Química Orgánica y de Tecnología Orgánica visitaron la fábrica de papel de Peña Pobre. Al regreso de las “excursiones” los alumnos tenían que hacer una monografía de la industria visitada.

Medellín impulsó dos importantes iniciativas, además de dotar a la Facultad de laboratorios y talleres la primera, mejorar notablemente las condiciones de los profesores; la segunda se relacionaba con los alumnos. Con la primera se logró dignificar a la planta docente, solicitando a la Universidad Nacional que se concediera el grado de Químico a los maestros de la Escuela que llenaran ciertos requisitos.

Con la segunda, pretendía impulsar las carreras de las Ciencias Químicas entre los estudiantes mexicanos, al enviar pensionados al extranjero a los más distinguidos de la Facultad, para que perfeccionaran sus estudios teóricos y prácticos en las mejores universidades europeas, de preferencia en Alemania donde existían los más célebres establecimientos de educación química en esa época (García, 1985).

Fue como iniciaron cursos de perfeccionamiento en Alemania los alumnos Fernando Orozco, Marcelino García Junco y Práxedes de la Peña en Hamburgo; Enrique Sosa Granados y Alfonso Romero en Frankfurt; Ángel y Agustín Salache y Luis de la Borbolla en Berlín; Teófilo García Sancho y Alberto Sellerier en Heidelberg. A su regreso, tiempo después, algunos de ellos fueron profesores de la Facultad.

El número de estudiantes en los talleres no se incrementó durante un buen tiempo debido a las dificultades para instalarlos adecuadamente. Aun cuando desde 1919 se venía fabricando jabón en el taller de jabonería, no fue sino hasta 1924 que terminaron de instalar los pabellones destinados a esta industria y a aceites esenciales, así como el taller mecánico y el de vidriería. Este último constaba de cuatro salones para el laboratorio de análisis, un crisol con capacidad de dos mil kilos de vidrio y cámaras para recocado.

Para esa fecha el taller de jabonería alcanzaba una producción de 200 kilogramos por día, muy baja, si se considera que en el local

original destinado a este fin, se construyeron tres pailas, cada una con capacidad de una tonelada y se instalaron cinco máquinas francesas para la elaboración de jabones finos. Curiosamente también se reportaba que la planta de éter sulfúrico⁴ producía 50 kilogramos diarios para consumo interno de la institución. Para el departamento de aceites esenciales se construyó un pabellón de 81 metros cuadrados con cuatro locales destinados a laboratorios, alambiques y bodega. Se compró un emulsionador mecánico y una columna rectificadora de alcohol.

Para atender las necesidades de los cursos experimentales se adquirieron, en Alemania y Estados Unidos, microscopios, polarímetros, balanzas, sustancias químicas, material de vidrio, aparatos para el análisis del petróleo, estufas, centrífugas, compresores, filtros, prensa, molinos de diversas clases, máquinas automáticas para la fabricación del vidrio y jabón, y la maquinaria necesaria para el curtido y elaboración de pieles en el área de curtiduría.

Esto permitió que los cursos industriales no se impartieran como en épocas pasadas, exclusivamente en el pizarrón, ocasionando que al término de las clases, el jabón, el vidrio y las pieles desaparecieran al borrar el mozo del pizarrón lo que teóricamente se había fabricado.

En abril de 1924 se incorporaron ocho expertos alemanes, especialistas en industrias que fueron adscritos a los talleres de vidriería, cerámica, materias grasas y curtiduría, a fin de aprovechar sus conocimientos industriales.

Al mismo tiempo que la parte técnica se consolidaba, se desarrolló la docente, ya para el año de 1924, se impartían las carreras de Químico Técnico, Químico, una controvertida carrera de Ingeniero Químico, la de Farmacéutico⁵, Metalurgista y Ensayador y la sub carrera de

⁴ Es muy probable que esta planta la donara a la Facultad Juan Salvador Agraz, quien originalmente la construyó como negocio propio, pues al momento de ser nombrado director de la escuela, ya no tuvo tiempo de atenderla.

⁵ **Nota de los Coordinadores.** Sobre las vicisitudes de la carrera de Farmacia puede consultarse a Aceves P. en Chamizo, J.A., (2010).

Auxiliar de Farmacia⁶. Como puede apreciarse, el número de carreras ya era mayor a las impartidas en el inicio de la institución.

A los alumnos de los cursos industriales, quienes no siguieron una carrera y cursaron una o varias industrias, se les dio adicionalmente una clase elemental de Física y otra de Química. Mientras que los planes de estudio de cada una de las carreras se revisaron y actualizaron constantemente, tomando en cuenta la organización de carreras similares en los más reconocidos planteles educativos del extranjero.

A la muerte de Julián Sierra,⁷ el 9 de abril de 1924, fue sucedido en el cargo de director por Ricardo Caturegli,⁸ su periodo al frente de la institución fue el de mayor penuria ya que afectó seriamente el trabajo experimental de los laboratorios, al carecer de reactivos y equipo, y él mismo lo reconoce al mencionar que “el almacén carecía frecuentemente de reactivos y los alumnos en varias ocasiones tuvieron que comprarlos con sus propios recursos, para realizar las prácticas”.

En 1926, se implantó un sistema contable eficiente para la administración de los recursos que generaban los talleres industriales, los cuales ya se habían regularizado y trabajaban cotidianamente.

Por esa época, la Facultad de Ciencias Químicas pasó a ser Facultad de Química y de Farmacia y Escuela Práctica de Industrias Químicas, agregándose la carrera de Químico a las existentes de Ingeniero Químico, Químico Farmacéutico, Farmacéutico y Ensayador Metalurgista.

La organización de la Facultad quedó constituida por tres divisiones sujetas a la dirección: la docente, la industrial y la administrativa.

⁶ Esta subcarrera se originó por alguna ley o disposición oficial que dispuso que los dueños de farmacia que llenaran los requisitos de tener una práctica por diez años, ser de buena salud y reconocida moralidad, se les diera en la Facultad unos cursos para que pudieran obtener el título de “Responsables de laboratorio” de su propia farmacia. Los cursos que se impartieron para ello fueron: Elementos de física con aplicaciones a la farmacia; Historia de las drogas; Elementos de química general con aplicaciones a la farmacia; Análisis y conferencias sobre higiene y deontología

⁷ Julián Sierra. Director de la Facultad de 1921 a 1924.

⁸ Ricardo Caturegli. Director de la Facultad de 1924 a 1927 y de 1931 a 1932.

La división docente tenía a su cargo la enseñanza de las materias de los planes de estudio de las diferentes carreras que se impartían en la Facultad, así como la selección de profesores y ayudantes encargados de las clases. Además, era la responsable del buen estado del material y equipo de los laboratorios, salones de clase y de conferencias y biblioteca.

La división industrial se encargaba del personal docente y técnico para la enseñanza de las industrias, del mantenimiento de los pabellones industriales de las industrias establecidas, así como de la maquinaria y los insumos, e instalaciones especiales requeridas para cada una de ellas.

La administrativa, como su nombre lo indica, se encargaba de la administración de los fondos destinados a los gastos de la Facultad e industrias establecidas.

La parte docente funcionaba durante el año escolar con excepción de los periodos vacacionales, atendiendo las clases, dirigiendo las prácticas y los trabajos de los alumnos; realizando los exámenes ordinarios y extraordinarios, dirigiendo las tesis y los exámenes profesionales de los pasantes.

La parte industrial funcionaba todo el año, no había periodos vacacionales. Lo mismo sucedía con la parte administrativa.

Para ingresar a la Facultad y estudiar alguna de las carreras que se impartían en ella, era obligatorio haber cursado los estudios preparatorios, que en esa época consistían en tres años de estudios generales y uno de especialización, según la carrera. Para la sub carrera de Auxiliar de Farmacia se requerían solamente los estudios primarios y la práctica suficiente en alguna farmacia. Para los cursos industriales se exigía sólo la instrucción elemental y tener 16 años cumplidos.

No cabe duda que ésta fue la época más brillante de la escuela en su etapa técnica, su fama se extendió por todo el país, atrayendo gran número de estudiantes de provincia.

Pocos años después, los talleres empezaron a declinar debido a que no fueron autosuficientes, los gastos de combustible y materias primas llegaron a significar un porcentaje importante del presupuesto de la Facultad.

La capacidad del taller de jabonería con tres pailas capaces de procesar tres toneladas de materias primas y los talleres de vidrio, con una capacidad similar, requería fuertes cantidades de dinero que cada vez era más escaso y por lo tanto dejaron de funcionar. Con el paso del tiempo los demás talleres fueron perdiendo importancia y desaparecieron poco a poco.

SEGUNDA ETAPA: LA PROFESIONAL

La escuela cayó en una profunda crisis que duró hasta 1935, el presupuesto había descendido de más de medio millón de pesos en la época de Julián Sierra, a 90 mil.

En esa época ocupó la dirección de la escuela el doctor Fernando Orozco, graduado en Alemania y quien, junto con algunos otros profesores, estaba convencido que la enseñanza de la Química no era el aprendizaje de un oficio, sino una actividad intelectual basada en el método científico. Con decisión desmanteló los talleres industriales y en su lugar construyó verdaderos laboratorios de enseñanza experimental. Junto con esto se revisaron y modificaron algunos de los planes de estudio de las carreras que en ese momento se impartían. El de la carrera de Químico constaba de cuatro años y permaneció igual. La carrera de Químico Farmacéutico modificó su plan agregándole un año para hacerla ahora de cuatro años. A la carrera de Ensayador Metalurgista sólo se le agregaron nuevas asignaturas. El cambio más profundo lo experimentó la carrera de Ingeniero Químico que se cursaba en cinco años.

El doctor Orozco dio a la Escuela Nacional de Ciencias Químicas una organización que sin modificaciones importantes sobrevivió 30 años. El periodo 1935-1942 de su dirección no sólo fue una época brillante, sino que marcó el éxito de la carrera de Ingeniería Química y una nueva etapa en la escuela: la profesional.

Desde su inicio, la Escuela enfrentó el problema de la falta de libros en español que pudieran ser considerados como textos para las

diversas asignaturas que la escuela impartía, los profesores, principalmente los que habían regresado de Europa, escribieron apuntes para su cátedra. Algunos de estos se transformaron en libros de texto, por ejemplo, el de Química Orgánica de García Junco o el de Análisis Químico del doctor Fernando Orozco, este último alcanzó una gran aceptación, no sólo en México, sino en la mayor parte de las escuelas de Química en América Latina.

Por otro lado, algunos estudiantes destacados tomaban apuntes durante las clases y al final del curso los multiplicaban con ayuda de un mimeógrafo y los vendían a la siguiente generación.

Era usual que los exámenes finales se basaran sobre lo expuesto en clase por el profesor. Los alumnos se quejaban cuando no salían “bien”, argumentando que el tema no se había visto en clase.

NUEVA ETAPA EN LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL EN LA QUÍMICA ORGÁNICA

En 1954, cuando junto con el doctor Alfonso Romo de Vivar me incorporé a la Facultad como ayudante de profesor del doctor José F. Herrán en las clases de Química Orgánica, nos encargamos de la parte experimental: el laboratorio. Éste tenía duración de cuatro horas por semana. Al inicio nos encontramos que las prácticas que se realizaban estaban diseñadas tomando en cuenta las limitaciones de tiempo, reactivos y equipos disponibles. Las prácticas debían ser fáciles de realizar y no peligrosas.

El equipo con el que se realizaban las prácticas era el básico. Las conexiones entre las diferentes piezas se hacían con tubos de vidrio doblados con el mechero, taladrando corchos y sellando las uniones con linaza. Al iniciar la práctica que requería de algún equipo, debía llamarse al ayudante del laboratorio para que pusiera en la libreta el visto bueno, esto significaba que el equipo estaba listo para iniciar la práctica. Después ya no había mayor vigilancia. Al terminar, los resultados se reportaban en la libreta y ésta se dejaba frente a una ventanilla cerrada, para que en su momento, cuando ya estaba depositada la totalidad de

las libretas, éstas desaparecían por la ventanilla, para aparecer en el mismo lugar días después, con la práctica calificada por los ayudantes del laboratorio. Al finalizar el año, el profesor de teoría calificaba al alumno de acuerdo con el examen realizado en su “clase”, ignorando con frecuencia el desempeño de éste en el laboratorio.

Las primeras mejoras que se introdujeron a ese sistema fueron: diseñar nuevas prácticas a escala semi-micro, para ser realizadas con equipo de juntas esmeriladas de rápido ensamblaje contenido en un estuche Quick-Fit inglés, que permitía realizar diversas operaciones: hervir a reflujo, destilar a presión ordinaria o reducida, agregar reactivos durante la operación, etcétera, reduciendo notablemente los tiempos de las prácticas, lo que permitió un número mayor de prácticas con un menor costo.

A la parte experimental se le dio una importancia equiparable con la enseñanza teórica. El profesor de laboratorio, cuando menos en la asignatura de Química Orgánica, dejó de ser un ayudante de profesor de “segunda” cuya opinión no se tomaba en cuenta al juzgar el desempeño del estudiante en una asignatura teórico-práctica, estableciéndose que el profesor de teoría daría al alumno el derecho de presentar examen final, si éste aparecía en la lista elaborada por el maestro de laboratorio, con los nombres de quienes habían cubierto satisfactoriamente la parte experimental.

En este proceso no se descuidó al profesor de laboratorio, considerando que la calidad académica y humana es un factor importante en el proceso enseñanza-aprendizaje. Por tal motivo, durante el periodo interanual y, posteriormente, los intersemestrales, se organizaron seminarios y talleres para que los docentes elaboraran personalmente las prácticas de los diversos cursos de Química Orgánica y se familiarizaran con el equipo y los posibles problemas con los que los alumnos podrían encontrarse.

Es necesario mencionar que el enfoque que se le dio a la parte experimental fue el mismo que se había usado anteriormente: reforzar la parte teórica del curso.

En esta etapa, los profesores de laboratorio estábamos presentes todo el tiempo que duraba la práctica atendiendo las dudas o

preguntas de los estudiantes, enseñándoles a doblar un papel filtro si era necesario, cristalizar el producto, o mostrándoles la manera correcta de determinar un punto de fusión o de ebullición, etcétera.

El reporte de prácticas, si bien seguía presentándose por escrito, se hacía oral, de tal manera que el profesor de laboratorio se diera cuenta de la cabal comprensión del alumno, de los principios teóricos y prácticos involucrados en las operaciones realizadas.

El plan de estudios de la carrera de Químico establecido en 1935, al inicio de la dirección del doctor Fernando Orozco, se cambió 19 años después, conservando la duración de cuatro años y con ligeras modificaciones, suprimiendo la asignatura de Manipulaciones de Física y modificando el contenido de las asignaturas de Física.

La modificación mayor se realizó en la carrera de Químico en 1963, cuando se amplió de cuatro a cinco años con la introducción de varias materias como: Bioquímica, Microbiología, Química Nuclear y Radioquímica y Tecnología Química, una asignatura de temas selectos de Química Superior y se agregaron las asignaturas de Literatura Química y Redacción de trabajos científicos. Un año después, se hizo un ajuste pequeño a la carrera, se establecieron como materias optativas los cursos industriales de Ingeniería Industrial, Instrumentación Industrial y Proyectos, antes exclusivos para ingenieros y temas sobre Petróleo, Tecnologías de las enzimas y alimentos.

LA REFORMA DE LA UNIVERSIDAD. EL GRAN CAMBIO

Memorable, fue 1967, un año clave en la historia de la Universidad y de la Facultad, un parteaguas en su vida, el inicio de su modernización.

El gran cambio llegó a la Universidad y a la Facultad con la Reforma Académica y Administrativa del rector Javier Barros Sierra, una reforma de tal magnitud e importancia sin parangón en la historia universitaria.

Implicó un cambio profundo en las carreras universitarias. Se dejarían atrás los planes anuales, sustituyéndose por otros más modernos y eficientes: los semestrales, las carreras dejarían de contabilizarse por asignaturas, ahora serían por créditos y tendrían un número máximo, definiéndose éstos como una hora/semana/mes de enseñanza experimental y dos créditos en el mismo lapso para la enseñanza teórica. Las evaluaciones pasarían de números a letras: no habría reprobados, sólo alumnos que no acreditaron la asignatura; en la Universidad dejarían de existir los “irregulares”, ahora serían estudiantes cursando las carreras a velocidades diferentes. La reforma marcó como velocidad ideal nueve semestres, pudiéndose ampliar hasta trece; el tope de créditos para el nivel profesional se estableció en 450. En nuestra Facultad, la única carrera que alcanzó esta cifra fue la de Ingeniería Química; Farmacia quedó en 433; Química, en 387; Ingeniero Químico Metalúrgico, 439 y la de Químico Metalúrgico, 106.

En cuanto a la carrera de Química, los que contribuimos a definirla consideramos que no necesariamente, el sumarle mayor cantidad de créditos, la haría mejor. Se discutió ampliamente cuál debía ser el mejor balance teoría/parte experimental. De entrada, nos dimos cuenta que se le asignaba a la enseñanza teórica un valor mayor que a la experimental, así que, una vez que a esta parte se le determinó un número de créditos adecuados, decidimos no incluir más asignaturas sólo con el fin de acercarnos al tope de 450 créditos señalado por el Consejo Universitario, por el contrario, dejamos un tiempo libre al alumno para repasar, meditar, aclarar, hacer suyos los conocimientos a los que habían sido expuestos, tanto en la teoría como en la práctica cotidiana y hacer uso de la biblioteca.

Para entender plenamente el significado de la reforma del rector Barros Sierra, se podría hacer el símil de una ciudad vieja con grandes y graves problemas de vialidad y servicios, cuya solución de raíz sería arrasarla, no dejar piedra sobre piedra y reedificarla de acuerdo con las necesidades actuales y las de un futuro inmediato.

Así fue entendido en la Facultad, realizándose un excelente trabajo de conjunto que sobresalió en la Universidad, de tal manera que en 1967, la Facultad fue la única que inició el primer día de clases con un nuevo plan de estudios, ofreciendo las nuevas asignaturas de los nueve

semestres de todas las carreras que se impartían, dejando atrás los planes anuales y contando con una administración renovada y reforzada para contender los desafíos que implicaba la reforma.

Cada coordinador de carrera cumplió su cometido. En cuanto a la carrera de Química, que al que escribe estas letras le tocó coordinar, me fue claro que era necesario darle una personalidad propia. Habría que reforzar el carácter experimental por un lado y por el otro el científico de las asignaturas.

Era necesario que el perfil de la carrera terminara con la “indefinición” de un profesional que recibía una preparación fundamental semejante a la del Ingeniero Químico, sin los conocimientos de la Ingeniería.

Junto con la Comisión Académica constituida por los doctores Humberto Estrada Ocampo y José Luis Mateos Gómez, nos dimos a la tarea de estructurar los cinco últimos semestres de la carrera e introducir elementos novedosos, como la creación de las asignaturas de Química Experimental Aplicada I y II y sus correspondientes seminarios a impartirse en los dos últimos semestres de la carrera. Asignaturas que no tenían antecedentes en la historia de la carrera de Química o de cualquier otra y sorprendían porque extrañamente no tenían apellido, es decir no pertenecían a ninguna asignatura tradicional como Química Orgánica o Inorgánica, y por lo tanto no tenían asignado un profesor de teoría, como tampoco lo tenían los seminarios.

El objetivo de las Químicas Experimentales lo describen el doctor Helio Flores, Benjamín Loyola y Guillermo James en una publicación (Ruiz *et al.*, 1986) de la *Revista de la Sociedad Química de México*: “Integrar los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera para planear trabajos experimentales basados en los conocimientos previamente adquiridos y en la investigación de la literatura química; realizar la síntesis o el análisis de los compuestos químicos; proponer modificaciones a los métodos aplicados con el propósito de optimizarlos; analizar y poder hacer una crítica de los métodos aplicados tanto desde el punto de vista químico, como económico; escribir un informe de trabajo completo con todas las actividades desarrolladas, sus principios y fundamentos, resultados y conclusiones para que pudiera ser producido y utilizado como antecedente de trabajos posteriores”.

La puesta en marcha de las Químicas Experimentales I y II y sus correspondientes seminarios requería de veinte horas de trabajo de laboratorio para cada una de ellas a la semana y de la misma manera seis para los seminarios. A diferencia de otras asignaturas, no tenía un programa previamente definido. Para cumplir con las expectativas de las Químicas Experimentales se requería de la participación de un grupo selecto de profesores con probada experiencia en investigación, que contaran con maestrías y doctorados en diferentes campos. Era también indispensable disponer de laboratorios bien dotados de reactivos y las facilidades necesarias para que los estudiantes pudieran laborar en él. El trabajo de investigación desarrollado por los alumnos podría, al cabo de un año, constituir su tesis profesional.⁹

Pero había adicionalmente otra intención, además de proporcionar a los alumnos una formación experimental sólida, la que el profesorado de la División de Estudios Profesionales pudiera realizar investigación y publicar eventualmente artículos originales.

Al entrar en vigor los nuevos planes de estudio en 1967, se iniciaron las actividades de las asignaturas Química Experimental I bajo la dirección del doctor Helio Flores, auxiliado por Rocío Pozas Horcasitas y en la II, el mismo doctor Flores acompañado por Jorge Haro, Fernando Malanco, José Luis Galván, Irma Aguilera y Elvia Martínez.

Las Químicas Experimentales no sólo cumplieron con las expectativas puestas en ellas, sino que fueron un catalizador para formar maestros y doctores.

Dados los excelentes resultados de estas asignaturas, fueron incorporándose a otros planes de estudio de otras carreras de la Química en diversos planteles e instituciones.

Además, sirvieron para resolver un gran número de problemas relacionados con diversas industrias químicas de catalizadores, aditivos, tintas, resinas, desechos industriales, adaptación de tecnología de

⁹ **Nota de los Coordinadores.** Lo que aquí se relata corresponde a lo que identificamos en *Antecedentes* como Trabajo práctico de Investigación y/o Aprendizaje Basado en Problemas. La evaluación del aprendizaje utilizada en aquella época correspondía más a un seguimiento tutelado y personalizado.

productos químicos, entre otros. Sus trabajos sobre la celulosa trascendieron los límites de la Facultad al señalar a las autoridades correspondientes el peligro que corría el papel de los documentos históricos de la Nación, archivados en el antiguo Palacio de Lecumberri; o la manera de proteger las teselas que forman los murales de la Universidad, ahora patrimonio de la humanidad; o la mejor manera de conservar los archivos cinematográficos de películas de la UNAM con soporte de nitrato de celulosa.

La Química Experimental ha sido uno de los eslabones más sólidos en la tan buscada relación Universidad-Industria, cambiando el perfil de la carrera y anticipándose a los cambios que habrían de venir, dejando claro el papel que deben desempeñar los químicos en el desarrollo industrial de México y en la creación científica y tecnológica. Por ello cuando la doctora Alejandra Kornhauser del Consejo Europeo para la Enseñanza de la Química visitó la Facultad en 1974, comentó sobre la Química Experimental y la asignatura Ciencia Básica que: “Era lo único original y novedoso que había visto en América Latina”.¹⁰

¹⁰ **Nota de los Coordinadores.** Retomando la experiencia de Química Experimental Aplicada, los actuales planes de estudio de todas las carreras contemplan, en sus últimos semestres, asignaturas que siguen una metodología basada en la resolución de problemas experimentales, de proyectos o de estudios de caso, donde los alumnos ponen a prueba lo que han aprendido; por ejemplo: las Estancias Estudiantiles, Trabajo de Investigación, Seminario, Ingeniería de Proyectos, Laboratorio de Tecnología de Alimentos, etcétera.

COMENTARIO

EDUARDO MARAMBIO DENNETT

La historia de la asignatura, como la presenta el Dr. Padilla, es sin duda alguna un ejemplo claro de la aportación de México a la docencia de las ciencias experimentales en Latinoamérica. Es la creación de una idea, tomada y desarrollada por algunos profesores distinguidos que en ese momento supieron transmitir el mensaje que destacaron los creadores del concepto.

El profesor que estableció las bases de lo que se desarrolló durante los 38 años de existencia fue el Dr. Helio Flores, quien junto al Dr. Padilla tenían una idea clara de lo que los estudiantes debían hacer, iniciando actividades en el laboratorio 2F del Edificio A, como una asignatura más de la carrera de Química. La primera generación sólo fue un grupo de 30 estudiantes, entre ellos Guillermo James y José Luis Galván, quienes fueron un pilar importante para implementar posteriormente la asignatura. Luego se anexó el laboratorio 2E, estos espacios cambiarían en 1976 a los laboratorios 4B, 4C, 4D y el anexo del 3E, cuando la División de Estudios de Posgrado, se cambia al edificio B (dejado por el cambio de la Facultad de Veterinaria al sitio que hoy ocupa).

Fueron muchos los profesores que impartieron la asignatura, los que recuerdan señalan que varios daban asesorías por estar en los programas y laboratorios de posgrado, pero no tuvieron un nombramiento en la asignatura. En la primera etapa estuvieron quienes acompañaron al Dr. Flores en los inicios, integrado por:

Grupo 1: Dr. Gabriel Siade, Dra. Martha Albores, José Juan Morales, Fernando Cantú, Dolores Arce.

Se les unieron en diferentes etapas de expansión, un buen número de otros profesores como:

Grupo 2: Guillermo James, Fernando Malanco, Jorge Haro, José Luis Galván.

Grupo 3: Mauro Cruz, Elvia Martínez, María Luisa Garciadiego, Ing. Alberto Obregón, Dra. Yolanda Caballero, Dra. Cira Piña, Irma Aguilera, Rosa Luz Cornejo, Selma Sosa, Javier Manríquez, Socorro Chávez de Soberón, Sara Obregón, Mary Carmen Olmos, Josefina Gallina, Benjamín

Ruiz L., Jaime Esquivel, Keiko Miyamoto, Eduardo Marambio y Ma. del Rayo Salinas.

Se observa que fueron muchos nombres, sin embargo, la movilidad (ingresos y retiros) de los docentes fue significativa hasta 1982, después sólo se reemplazarían aquellos estrictamente necesarios para mantener una planta de cinco, hasta que se impartió el último grupo en el 2° semestre de 2010, con Selma Sosa como asesor directo y jefe de sección Benjamín Ruiz Loyola.

La Asignatura, como se ha señalado, comprendía Química Experimental Aplicada I, Química Experimental Aplicada II, cada una con 20 horas a la semana y Seminarios I y II con 3 horas semanales cada uno, lo que hacía que el estudiante permaneciera 23 horas semanales como mínimo en el área. Aunque la primera generación sólo llevó una Experimental, debido a que con ésa cumplían con los créditos de la Carrera.

Química Experimental Aplicada comenzó como Departamento a cargo del Dr. Flores; en 1972-1 se crearon dos jefaturas, a la cabeza estaba José Juan Morales en la Experimental I y en la otra, el propio Dr. Flores en la Experimental II, posteriormente se unificaron quedando erróneamente como sección del Departamento de Q. Orgánica con un solo jefe.

El alumno estaba asignado a un determinado asesor y cumplía con lo siguiente: en la Química Experimental I, un análisis Orgánico de productos desconocidos (sólidos y líquidos) y de dos mezclas por vía húmeda, además se tenían análisis inorgánico de minerales y aleaciones (esto fue posible cuando se incorporó el Ing. Obregón en 1977 y aunque se retiró algunos años después, continuó esa labor Elvia Martínez hasta su retiro en 2002), terminando con una síntesis que podía ser un producto inorgánico u orgánico.

En la Química Experimental II, se le asignaba al estudiante un proyecto de síntesis, un análisis de un producto comercial (que podía ser control de calidad) y una revisión bibliográfica.

Entre sus fortalezas estaban: la aplicación del método científico, y el papel preponderante que jugaba la parte de revisión bibliográfica. Ésta se revisaba a detalle, y se exponían las hipótesis a desarrollar y los

avances en los seminarios que estaban enlazados a cada Q. Experimental, además cada estudiante debía llevar una bitácora, que era revisada y calificada semanalmente por el asesor.

Los proyectos a desarrollar, en su totalidad no eran “prácticas definidas y probadas”, sino que los profesores se involucraban con los estudiantes en cada una de las actividades, estas fueron amplias y abarcaban la gran mayoría de disciplinas y áreas de conocimiento que se tenían en ese momento, cumpliendo con la idea muy marcada, compartida por el Dr. Helio Flores, y Guillermo James: un químico debía ser capaz de desarrollar y aplicar todas las áreas del conocimiento.

De los proyectos desarrollados, destacamos sólo algunos en los cuales se trabajó con logros importantes:

1. Sustitución de insumos de importación. Tuvo especial relevancia en los años 1970-1976, en que el Gobierno Federal incentivó estos proyectos. El Dr. Flores viajó a la frontera norte (Tijuana) y trajo variadas muestras para su estudio.
2. Síntesis de pigmentos para la Escuela Nacional de Artes Plásticas. Su finalidad era dar relevancia a pigmentos para murales resistentes a agentes ambientales, este proyecto fue del maestro Luis Nishizawa.
3. Comité PEMEX-UNAM. Fue creado con la participación de las principales áreas de Pemex y Química Experimental, se asignaron proyectos sobre control de calidad de sus materias primas, intermedios y productos terminados, así como problemas específicos de proceso (aunque en ese momento Pemex no contrataba químicos para sus laboratorios de control). El área contaba con recursos extras para sus actividades y los alumnos contaban con una modesta beca de apoyo, así como viáticos para las visitas a las plantas cercanas al Distrito Federal, esto tuvo particular importancia, pues permitió a los estudiantes conocer plantas de proceso, experiencia muy enriquecedora para su formación profesional.
4. Se atendió a alrededor de 50 microempresas con problemas de control de materias primas, propiedades en productos específicos, modificación de patentes de formulaciones y

modificación en procesos de productos químicos. Esto tuvo particular importancia, ya que, al conocer los problemas (se establecía compromiso de secrecía), se tenía una visión exacta de las situaciones a las que se enfrentaría un químico en una empresa, se cobraba lo necesario para cubrir los gastos básicos de insumos, análisis espectroscópico y apoyo económico para el estudiante que desarrollara el proyecto; además se contó con el respaldo del Ing. Ramón Arnaud, quien daba Ingeniería económica, y se evaluaron múltiples proyectos, enriqueciendo el nivel de los estudiantes en establecer el significado de estos conceptos en el sector industrial.

Como dato interesante, cada vez que se presentaba en la Facultad un problema para realizar en aspectos de análisis o síntesis, se le entregaba a Química Experimental. Esto cambió, al establecerse el ingreso de muestras y problemas a través del Departamento de Control Analítico (proyecto de la QFB María Luisa García Padilla).

5. Determinación de metales pesados en productos alimenticios. Con la problemática de protección al ambiente, se realizaron diversos trabajos, destacando la determinación de plomo en alimentos para bebés.
6. Determinación de edulcorantes en refrescos nacionales.
7. Proyecto con la empresa José Cuervo. Al igual que los proyectos anteriores, se establecieron por un comité en donde se asignaban las actividades a realizar, en especial el aprovechamiento de subproductos de la industria tequilera, así también se tenían recursos para insumos y apoyo a los estudiantes.
8. Síntesis de reactivos para diferentes departamentos como Físico-química y Bioquímica.
9. Recuperación de sílica para columnas cromatográficas.
10. Síntesis de antiespumantes y optimización de propiedades.

En general, las Químicas Experimentales cumplieron a cabalidad los lineamientos de sus creadores, llegando en algunos momentos

(1985-1990) a tener mayor productividad en tesis y congresos, que la parte de posgrado del Departamento de Química Orgánica.

Los aspectos conceptuales de la asignatura fueron fuente de inspiración para que se crearan equivalentes en otras universidades, así se tiene, que la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) unidad Iztapalapa, entre 1974 y 1976 creó la asignatura, la cual fue iniciada por Jorge Haro y Jaime Esquivel (las conversaciones iniciales fueron con Guillermo James); la Facultad de Estudios Superiores (FES) Cuautitlán recibió a Elvia Martínez en 1976, enviada por el Dr. Helio Flores a comenzar actividades y adecuar espacios para la asignatura; la Universidad Autónoma del Estado de México también adoptó la idea y destacó el profesor Pedro Villanueva, quien se encargó de ella desde 1975 hasta 1995 en que desapareció. Al parecer hay indicaciones que el concepto actual de la asignatura de Ingeniería de Proyectos de la carrera de Ingeniería Química, tuvo consideraciones similares a Química Experimental Aplicada, considerando que los estudiantes de dicha Carrera tendrían un “símil” de lo que harían en el sector productivo, algo parecido ocurrió con el LABDEA de Química de Alimentos, aunque actualmente se le llama *estancia estudiantil y tecnología de alimentos*.

Las distintas etapas de la asignatura tuvieron pocos cambios hasta 1985-1986, en que comenzaron los problemas al crecer los diferentes Departamentos (quizás el que más creció fue Química Inorgánica), sus laboratorios de posgrado también, con lo que se impulsó una mayor demanda de estudiantes que desarrollaran tesis, investigación e incrementaran el posgrado. Se fue creando entonces la idea de que los alumnos podrían cubrir la asignatura de Q. Experimental I y II, en la División de Estudios de Posgrado, ya que tenían mejores recursos y accesos a técnicas instrumentales, esto se resolvió cuando se creó la Unidad de Servicios a la Investigación (USAI), ya que tenía asignados equipos de Resonancia Magnética Nuclear y se necesitaba invertir en nuevos equipos con mejor tecnología, al crearse la USAI, la cual se centralizó y atendió a toda la comunidad.

Otro de los problemas que se hicieron presentes fue que, aunque se cumplía con los lineamientos iniciales, comenzaron a aparecer tendencias relacionadas con distintas afinidades de los profesores por un área del conocimiento, dependiendo también de los proyectos prin-

cipales. Lo anterior llevó a que algunos profesores consultaran a otros con mejores conocimientos en áreas específicas de nuevo desarrollo. Como todo proyecto docente esto también apoyó la superación académica del profesorado, en áreas de análisis instrumental, síntesis y propiedades de tenso-activos, pigmentos y colorantes e intermediarios de antibióticos semi-sintéticos.

En 1987, se modificó el plan de estudios de la carrera de Química y desapareció Q. Experimental I, creándose Introducción a la investigación. La modificación hizo que las prácticas de la Química Experimental I se perdieran y se continuó sólo con las actividades de la II. Igualmente se eliminaron Seminarios I y II. Además se estableció que los estudiantes pueden cumplir la asignatura en los diferentes laboratorios de la Facultad, en especial posgrado, con la supervisión y evaluación de los profesores definitivos de la materia.

Con lo anterior no sólo se privilegió el posgrado y se comenzó a perder la atención del alumno, sino que además se redujo significativamente el número de profesores (además las plazas se cancelaron a medida que los profesores se jubilaron o tomaron otras actividades) y el espacio físico, a sólo el laboratorio 4D y los dos anexos. Finalmente terminó en un pequeño espacio compartido con la Coordinación de Seguridad, Prevención de Riesgos y Protección Civil en el Edificio B, Laboratorio 201.

El término de la asignatura se dio con los nuevos programas de estudio de 2005, donde la coordinación de carrera de Química señaló argumentos de que con eso se incrementaría la eficiencia terminal, al permitir que los estudiantes realizaran las actividades integrándose a grupos de investigación; con esto se rompió por completo con los objetivos planteados originalmente en la asignatura, ahora, a ocho años de aplicado este plan, no se ha observado un cambio cualitativo en las conductas de los alumnos, ya que, por lo regular al integrarse el estudiante a grupos con estructuras de investigación definidas, se cometen ciertos excesos, por ejemplo, al estar el investigador presionado en publicaciones o trabajos de congresos (Primas de desempeño o sistema nacional de investigadores, PRIDE, SNI), sólo se dedica a resolver problemas muy específicos, perdiendo la idea integradora de conocimientos de la asignatura; también al estudiante ahora se le encamina más a posgrado que

a las actividades industriales, apoyado por el crecimiento de las universidades y el número de becas que se han tenido en los últimos años. Esto también está llegando a sus límites, porque los egresados tienen dificultades para encontrar trabajo.

Como reflexión final puedo señalar que, como institución formadora de profesionales, es importante que tenga opciones para los estudiantes, es decir, no todos irán a estudiar posgrado, muchos se integran al sector productivo y allí la información generada, es que los alumnos tienen deficiencias que los industriales deben resolver, por un lado haciendo que laboren como técnicos, en áreas de control de calidad o las pocas industrias que tienen investigación y desarrollo, los forman y preparan a su conveniencia. Lo anterior ha llevado a que prácticamente sea limitado el desarrollo tecnológico de las industrias del sector, haciendo sentir la necesidad de alguna asignatura como Experimental Aplicada, en donde se impulse la creatividad con apoyos más modernos en técnicas instrumentales. Actualmente, no es extraño encontrar en la UNAM a químicos desarrollando actividades de laboratoristas, una actividad ocupada principalmente por personal administrativo sindicalizado.

Una de las fortalezas, por ejemplo, en el área de Ingeniería Química de la Facultad, es la gran cantidad de profesionales del sector industrial, que imparten clases, así como desarrollan múltiples proyectos con la industria, permitiendo un sano equilibrio en la formación de los futuros profesionales, algo que no se ve actualmente en la carrera de Química.

3.2

ORÍGENES Y EVOLUCIÓN DEL LABORATORIO DE CIENCIA BÁSICA

MARGARITA ROSA
GÓMEZ MOLINÉ

Desde fines de los años cincuenta aparecieron inconformidades sociales que culminaron en el trágico movimiento estudiantil de 1968. El malestar llegó a ser tan profundo que se volvió inaplazable hacer ajustes, tanto en la educación como en el área social.

Durante la presidencia de Luis Echeverría, al hacerse cargo de la Secretaría de Educación Pública, en 1970, el ingeniero Víctor Bravo Ahuja, un hombre práctico con ímpetu modernizador, decidió efectuar una reforma educativa a fondo. Empezó propiciando una nueva ley de educación, promulgada el 13 de diciembre de 1973. Esta ley consideró a la educación como un proceso permanente con dos objetivos sociales: transformar la economía y la sociedad para modernizar las mentalidades y promover un orden justo que distribuyera las oportunidades equitativamente y, sin modificar los principios tradicionales del artículo 3º, facilitar la revalidación de estudios y reconocer la educación a distancia, patrocinada por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (Vázquez, 2010).

Al mismo tiempo, el crecimiento de la población hizo insuficiente la oferta de la educación media y superior, lo que se aprovechó para promover nuevos modelos de educación como el Colegio de Bachilleres. A su vez, la UNAM y el Instituto Politécnico Nacional (IPN) revolucionaron sus niveles medios con la fundación del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), que rompía la vieja estructura de la enseñanza preparatoria y la conversión de las vocacionales del IPN en centros de estudios científicos y tecnológicos (CECyT) para ofrecer títulos intermedios.

El CCH aportó un cambio muy importante, desde el punto de vista pedagógico, al introducir métodos de enseñanza activa, elaborados por equipos de especialistas en ciencias con pedagogos y filósofos para reformar los métodos y los programas, desterrar la enseñanza rutinaria y responder al cambio constante del conocimiento y propiciar desde el nivel bachillerato, la formación de mentes creativas, desarrollando una actitud científica, una conciencia histórica y un sentido de la relatividad del conocimiento.

Esta experiencia fue un antecedente del Laboratorio de Ciencia Básica (LCB), proyecto de la Facultad de Química (FQ) de la UNAM, que planteó el cambio de la enseñanza experimental aportando un enfoque

dirigido a revalorizar el trabajo en el laboratorio, para lograr un aprendizaje significativo.

Un cambio en el modelo de enseñanza en el área de las ciencias es un reto difícil de llevar a cabo, hay que afrontar la inercia tanto de los profesores, como de los alumnos y de la administración de la institución.

En este documento se presenta una breve recopilación de las metas, los programas, unidades y documentos generados para la implementación del LCB con énfasis en las fases más notorias, que permiten una visión objetiva del esfuerzo realizado por un entusiasta grupo de profesores.¹¹

ANTECEDENTES

A principios de los años 70, en la FQ de la UNAM, la enseñanza experimental estaba a cargo de cada asignatura con sus propios laboratorios. En éstos se llevaban a cabo, principalmente, demostraciones, obtención de productos y análisis.

En la revisión y actualización de la docencia para el CCH se observó que el trabajo experimental permite una multiplicidad de objetivos, que no habían sido tomados en cuenta: la familiarización, la observación e interpretación de los fenómenos que son objeto de estudio en las clases de ciencias, el contraste de hipótesis en los procesos de modelización, el aprendizaje del manejo de instrumentos y técnicas de laboratorio y de campo, la aplicación de estrategias de investigación para la resolución de problemas teóricos y prácticos y, en definitiva, la comprensión procedimental de la ciencia. Es decir, que a partir del trabajo experimental en el laboratorio, no sólo se aprenden

¹¹ Este trabajo se integró gracias a la información proporcionada por Carlos Castañeda, Rebeca Sandoval, José María García Saiz, Sra. Bascañán, Ana María Velázquez, Sandra Rueda, Marina Morales, Rafael Sampere, Antonio García Osornio, Saturnino Maya, Leticia Figueroa, Armando Sánchez y Víctor Manuel Ávalos, con la que fue posible recuperar parte de la labor didáctica desarrollada por un gran número de profesores que se han esforzado en cambiar la enseñanza experimental.

las técnicas, sino también se pueden comprender los conceptos, leyes y teorías que forman la estructura teórica de la Química.

El Dr. José F. Herrán Arellano, Director de la Facultad (1970-1978), preparó el terreno para recibir a los alumnos CCH que cursaron una materia única de modelo científico experimental, al apoyar las iniciativas del IQ. Felipe Padín y del Dr. Javier Garfias, quienes estaban estudiando y valorando el modelo de enseñanza de la Universidad Abierta de Londres, a las que se agregó la experiencia del IQ José María García Saiz, colaborador de los equipos que diseñaron los programas del CCH.

Hay que recordar que hasta entonces, la mayoría de los profesores pensaban que enseñar como les habían enseñado a ellos era lo que debía hacerse, esto es, reproducir el modelo de enseñanza-aprendizaje en el que habían sido formados, o sea, la enseñanza tradicional, también conocida como modelo de transmisión-recepción.

Las investigaciones sobre el proceso enseñanza-aprendizaje muestran, según Ausbel (1976), que el modelo tradicional de enseñanza presta más atención a los aspectos cognitivos que a los psicológicos, ya que considera al alumno como una página en blanco en la que se inscriben los conocimientos y supone que éstos, ya elaborados, se transmiten de la mente de una persona a la de otra. El eje de esta enseñanza es la lección magistral, en la que el profesor expone y los estudiantes toman notas, y puesto que el conocimiento adquirido es idéntico al del docente o al del autor del libro de texto, la prueba de esta adquisición es la memorización y la repetición para exhibir un conocimiento copiado.

La propuesta del IQ Padín se basó en que, como lo han mostrado un buen número de trabajos, la mera exposición de un cuerpo de conocimientos no asegura su comprensión y los conocimientos no se adquieren ya hechos, sino que cada alumno los rehace a la luz de sus ideas y experiencias anteriores.

En esa época (1970), de acuerdo con las necesidades de la sociedad, se desarrollaron diversos modelos de enseñanza de las ciencias (Gómez y Sanmartí, 1996). Entre ellos está el modelo por descubrimiento que tiene fundamentos psicológicos sobre los aprendizajes, provenientes de diversas investigaciones (Piaget, 1983), según los cuales la mejor manera de que un alumno aprenda es que lo descubra por sí mismo, pues el conoci-

miento se construye mediante la actividad y propone como objetivo de la enseñanza de las ciencias el desarrollo del pensamiento formal. Está fundamentado en el empirismo y en el carácter provisional de la ciencia, caracterizada por un método científico universal y la observación objetiva, no mediatizada por teorías. El razonamiento inductivo considera que el estudiante puede descubrir conceptos y leyes por generalización a partir de sus propias observaciones. En este modelo, aprender Ciencias es dominar los procesos del “método científico”, pues al aplicarlo se llegan a descubrir los conocimientos; por tanto, se deben enseñar las destrezas de la investigación, organizando y coordinando actividades experimentales, (De Gortari, 1978). Se dijo que el “método científico” era el camino por el cual se llega a un cierto resultado en la actividad científica.

En este modelo el alumno tiene el papel central y el papel del profesor, es más bien, el de coordinador de actividades experimentales, restringiendo sus intervenciones, proporcionando oportunidades de investigar y experimentar. La meta es desarrollar un tipo de estudiante más reflexivo y observador, más creativo y capaz de impulsar la investigación a partir del trabajo en el laboratorio, como lo sigue proponiendo Nakleh *et al.* (2004).

En la FQ estas teorías motivaron a un grupo de maestros a presentar una proposición para la integración de la enseñanza experimental en el primer año¹², que se basa en las siguientes consideraciones y problemas:

- 1) La Química como disciplina científica es básicamente una ciencia experimental.
- 2) La experimentación formal no es más que el manejo del método científico.
- 3) La falta de recursos económicos se manifiesta en las deficiencias de equipo y laboratorios, lo que ha provocado un desequilibrio entre la teoría y la práctica.
- 4) En los primeros semestres se crea en el alumno la idea de que las diferentes materias pertenecen a entidades científicas ajenas entre sí.

¹² La copia del documento que contiene la proposición, así como copias de las prácticas que se llevaron a cabo en la Facultad de Química, se obtuvieron en el almacén del Edificio A de dicha Facultad.

La implementación de la propuesta contemplaba la creación de un laboratorio, que dentro de la formación profesional, proporcionara una sólida preparación en ciencia básica, un grado aceptable del manejo de los principios generales de la ciencia, sus procedimientos y, además, dentro de esta misma formación, cierta habilidad manual.

Se determinó que el problema no era por falta de recursos; siempre ha habido recursos insuficientes. Más bien, convenía una redistribución de los actuales. Por tanto, propusieron conformar, con los recursos físicos y humanos, de espacio y de tiempo de los laboratorios de las cinco áreas básicas: Física, Fisicoquímica, Análisis, Q. Orgánica y Q. Inorgánica, una nueva asignatura *el Laboratorio de Ciencia Básica*.

IMPLEMENTACIÓN

A) FACULTAD DE QUÍMICA. 1ª ETAPA (1974-1976)

Para la implementación de esta enseñanza se invitó a los profesores de la Facultad, así como a otros profesionistas y alumnos interesados en la docencia, a cursos y talleres sobre el nuevo sistema de enseñanza experimental. Quienes se identificaran con este modelo podían formar parte del grupo de docentes e impartirían el nuevo tipo de enseñanza.

También se preparó material escrito explicando detalladamente las metas y objetivos que se deseaban alcanzar, un resumen de los conceptos que se buscaba enseñar y una guía para las prácticas. Para la elaboración del diseño de las prácticas, construcción de equipos, material escrito, diseño gráfico, modificaciones y correcciones e impresión de unidades, se nombró un equipo de profesores formado principalmente por: Carlos Castañeda, Elia Catalina León, José Luis Martínez, Francisco Rebollo, Rebeca Sandoval, Socorro Salas y Josefina Toledo y como coordinadores José María García Saiz y el recién llegado Aníbal Bascuñán, exiliado de Chile, que traía una gran experiencia en la enseñanza de la Química con prácticas basadas en el modelo didáctico por descubrimiento.

El Laboratorio de Ciencia Básica (LCB) ocuparía los laboratorios de las asignaturas del primer semestre, sin el apoyo de su laboratorio (también

tradicional). El resto del plan de estudios no se modificó. Se fijaron las metas, el método de enseñanza, la evaluación, el programa y los contenidos de los dos cursos: LCB I y LCB II como se describen a continuación.

Metas

El alumno

- Desarrollará su capacidad para hacer un análisis crítico de los fenómenos químicos y físico-químicos, aplicando para ello el Método Científico.
- Adquirirá una plataforma de conocimientos básicos dentro del campo experimental.
- Adquirirá la habilidad para planear y realizar trabajos experimentales, siguiendo la metodología científica.
- Desarrollará su capacidad para expresar en forma escrita y sistemática los resultados de sus trabajos experimentales
- Adquirirá la destreza suficiente para realizar correctamente las actividades experimentales que corresponden a este nivel de aprendizaje.
- Valorará la importancia del trabajo experimental.

Método de enseñanza

Se empleará el sistema modular: al alumno se le informa de los objetivos, los contenidos y los sistemas de evaluación del curso; también de que su avance en las unidades está condicionado al hecho de haber alcanzado los objetivos planteados en la unidad que le antecede.

Se entregará material impreso para encauzar la investigación bibliográfica y experimental que realiza el alumno; la función del maestro es la de asesorar y motivar permanentemente al estudiante en todos los aspectos del aprendizaje, asegurar la comprensión de éste sobre el trabajo a desarrollar y se programará una entrevista personal para discutir el material impreso, la definición del problema, la hipótesis para resolverlo y el proyecto del trabajo. A continuación, el alumno llevará a cabo:

- El trabajo experimental: plan para la experimentación, montaje del equipo y realización del experimento.

- La recopilación y tratamiento de datos: la información se procesa de acuerdo con el diseño propuesto.
- La contrastación de la hipótesis y conclusiones.

Con los datos e información obtenidos participarán en discusiones de grupo; asimismo, elaborarán trabajos de tipo monográfico y deliberarán con sus compañeros.

Evaluación

- El aprovechamiento de los alumnos se evaluará tomando en cuenta las siguientes modalidades:
- El trabajo experimental mediante registros, aplicando criterios de ejecución.
- Los informes de trabajo, ya sea de los experimentos o de los proyectos experimentales.
- Pruebas parciales hechas por los asesores mediante aplicación de pruebas objetivas.
- Pruebas departamentales hechas por la Coordinación.

Programa

Cada curso consta de seis unidades y cada una de éstas contiene varios documentos que se entregan a los alumnos para estudiarlos y exponerlos frente al docente antes de empezar la práctica, para ayudarles a comprender los contenidos y a desarrollar la parte experimental.

Se dispone de un laboratorio abierto y con asesoría de profesores durante el día para que los estudiantes puedan, de acuerdo a sus horas libres, llevar a cabo las prácticas durante 10 horas semanales, por tal razón se le asignan 10 créditos. La materia no está seriada en el plan de estudios y pueden llevarla durante la carrera.¹³

¹³ **Nota de los Coordinadores.** Éste fue uno de los primeros ejemplos de una asignatura experimental que tenía una calificación por sí misma. Actualmente, en los planes de estudio de la Facultad de Química hay algunas asignaturas con estas características como: el Laboratorio de Física del tronco común; el Laboratorio Unificado de Físicoquímica, que integra los conocimientos de Fenómenos de Superficie, Electroquímica y Cinética Química; otros ejemplos de asignaturas experimentales son: Analítica Experimental I y II, Microbiología Experimental, Bacteriología Experimental, Bioquímica Experimental, entre otras. *¿Por qué la mayoría de las asignaturas experimentales siguen supeditadas a las asignaturas teóricas?*

Contenidos

Los contenidos y prácticas fueron seleccionados y propuestos por los profesores, por lo tanto representan la interpretación que hicieron a los planteamientos teóricos (ver **Tabla 1**).

En el Laboratorio de Ciencia Básica I (LCB I) predominan los temas básicos con un importante contenido informativo para guiar al alumno a hacer los experimentos. Se incluye parte de la marcha de Bunsen para ayudarle en el siguiente tema: el análisis de un mineral.

En cambio, en el Laboratorio de Ciencia Básica II (LCB II) las unidades contienen una revisión panorámica de algunos temas de la Química. En ellas se hace hincapié en lo formativo y a través de reflexiones histórico-filosóficas se invita al estudiante a analizar los orígenes, el presente y el porvenir de muchos conceptos que él maneja a diario o que deberá manejar en un futuro más o menos cercano. La parte experimental del LCB II no acompaña cada una de las unidades, es un proyecto para la obtención de un metal, que se desarrolla a lo largo del curso, empleando los conocimientos teóricos que se van adquiriendo en las clases de teoría y se incorporan al proyecto.

2ª ETAPA (1976-1984): EVOLUCIÓN DEL LCB II

La evaluación de los dos primeros semestres motivaron la modificación paulatina de los contenidos y prácticas (ver **Tabla 1**): se traslada el estudio del equilibrio químico al LCB II. Se elimina la parte dedicada a la Historia de la Química y el estudio de los minerales. La parte experimental del LCB II no acompaña cada una de las unidades, es un proyecto experimental para la obtención de un metal, que se desarrolla a lo largo del curso e introduce el estudio de la Química Analítica. Los LCB se impartieron en Facultad de Química de la UNAM de 1974 a 1984 a todos los alumnos de primer año de todas las carreras (ver **Tabla 1**).

Tabla 1. Facultad de Química. Contenidos de las unidades y prácticas.

Primera etapa (1974 - 1976)		Segunda etapa (1976- 1984)	
Laboratorio de Ciencia Básica I		Laboratorio de Ciencia Básica I	
Unidades	Prácticas	Unidades	Prácticas
I. El Método Científico	Reacciones ácido + metal	I. El Método Científico	Reacciones ácido + metal
II. Medición	Reloj de agua. Plano inclinado. Análisis gráfico de datos	II. Medición	Reloj de agua. Plano inclinado. Análisis gráfico de datos
III. Estequiometría	Ciclo del cobre. Gases	III. Estequiometría	Ciclo del cobre. Gases
IV. Estados de agregación	Estado sólido, líquido y gaseoso. Diagrama de fases	IV. Estados de agregación	Estado sólido, líquido y gaseoso. Diagrama de fases
V. Termodinámica	Cambios energéticos en las reacciones químicas. Calorímetro. Entalpía	V. Termodinámica	Cambios energéticos en las reacciones químicas. Calorímetro. Entalpía
VI. Equilibrio químico	Aplicaciones: acidez y alcalinidad. Oxidoreducción. Identificación y separación de cationes		
Laboratorio de Ciencia Básica II		Laboratorio de Ciencia Básica II	
VII. ¿Cómo se llega a la Química?	Análisis de un mineral. Propuesta de un método para su extracción. Análisis del metal Proyecto experimental para la preparación de compuestos Recopilación de información sobre su importancia económica	I. Equilibrio Químico	Determinación de la constante
VIII. El átomo y sus modelos			Óxido reducción en solución acuosa
IX. Los elementos y sus ordenaciones			Determinaciones de pH Ácido base en solución acuosa. Ka y pKa
X. ¿Cómo se forman las moléculas?			Distribución de un soluto entre dos disolventes no miscibles
XI. De los modelos a la realidad			Influencia de la temperatura en la solubilidad
XII. La Industria Química de México			Efecto del ión común en la solubilidad

ANÁLISIS Y COMENTARIOS

El marco teórico se basó en las investigaciones sobre didáctica de los años 70, así como en publicaciones de la Open University. Como provenía de un contexto diferente, hubo necesidad de grandes adaptaciones, pues ni alumnos ni profesores tenían la misma preparación que los estudiantes que habían dado origen a esos estudios.

Fue importante la distribución de varios documentos informativos por unidad, redactados en un lenguaje claro y conciso para que el alumno no encontrara dificultades en su comprensión, que también servirían de guía al profesor y para homogenizar los contenidos que se deseaba que el estudiante tuviera presente al empezar la práctica.

Sin embargo, ni el manual para la preparación de profesores ni las prácticas fueron suficientes para entender el proceso ancestral de identificación y obtención de metales, por lo que el tema fue eliminado del programa y sustituido por prácticas de Química Analítica que es una materia bien estructurada, basada en modelos fisicoquímicos, pero que no permite al alumno deducir por sí mismo el origen de los modelos propuestos. Este cambio modificó las metas iniciales del LCB.

Algunos docentes que aceptaron impartir el LCB provenían de una formación tradicional y se entusiasmaron con el cambio del proceso enseñanza-aprendizaje. Todos tenían el grado de licenciatura y debían poseer los conocimientos generales de las asignaturas de la carrera, pero estaban ligados a sus departamentos y se habían especializado en determinadas asignaturas. Esto les impedía ser interdisciplinarios y obligaba a los alumnos a buscar a determinados profesores para un tema dado, lo que era contrario a la formación que debían fomentar.

No es fácil pasar de una clase magistral a centrarse en la formación del estudiante, discutir sus razonamientos, sus hipótesis y encaminarlos hacia el mejor procedimiento, sin darles la receta o la fórmula; se requiere una buena formación pedagógica. Por eso muchos profesores regresaron a sus departamentos originales.

Los alumnos de la primera generación tuvieron el laboratorio abierto para trabajar en sus horas libres, sin embargo, pocos lo aprovecharon y se confiaron en acreditarlo más adelante, puesto que no estaba

seriado con otras materias. Esta experiencia mostró que no estaban acostumbrados a regular su aprendizaje y fue necesario fijar horarios y pasar lista para habituarlos a una disciplina de trabajo y facilitar la labor de los profesores.

La entrevista con el docente para evaluar la interpretación que daban los alumnos a los documentos, elaborar la hipótesis y el proyecto de trabajo resultaba muy subjetiva y, en muchos casos, se convirtió en una examen de lápiz y papel, más rápido y fácil de evaluar, pero que eliminaba las preguntas y respuestas espontáneas que enriquecían una discusión y permitían al maestro detectar y corregir errores sobre la marcha.

En cuanto a la evaluación, la aportación de Ciencia Básica no podía evaluarse mediante exámenes que medían el conocimiento memorizado. Las destrezas, habilidades del pensamiento formal y comprensión de fenómenos, requieren un tipo de evaluación diferente, y la evaluación individual a partir de informes elaborados por un equipo también.

Otras razones se sumaron a la eliminación del LCB en la facultad de Química, por ejemplo: las horas de los laboratorios por asignatura del primer año quedaron suprimidas. Los profesores que impartían los cursos quedaron sin el apoyo del laboratorio respectivo y argumentaron que el LCB, cuyos objetivos se centraban en el desarrollo del pensamiento deductivo e inductivo del alumno, no podía llenar más que parcialmente sus necesidades, por lo tanto el currículo original quedaba desbalanceado, razón por la que los docentes deseaban recuperar sus laboratorios de apoyo a su asignatura.

Al no estar el LCB seriado con otras materias, algunos estudiantes la dejaban de lado hasta el final de la carrera, con lo cual los objetivos de Ciencia Básica quedaban anulados.

Al tratar de cambiar la enseñanza sólo en los dos primeros semestres de las carreras, para enseguida regresar al sistema tradicional, confundió a los alumnos, pues no podían aplicar la metodología aprendida.

Por el lado positivo se vio que el esfuerzo constante de los profesores para actualizar y mejorar las prácticas de los LCB desarrolló en algunos de ellos una forma distinta de ver la enseñanza, más centrada

en el alumno, más personalizada y permitió a éste aprender significativamente. Esta experiencia se vio reflejada en los laboratorios recuperados por algunas asignaturas que se introdujeron en el nuevo Plan de Estudios, sobre todo en los de Química General.

Este sistema de enseñanza fue adoptado desde 1974 por las Escuelas Nacionales de Enseñanza Profesional (ENEP) tanto de Cuautitlán como de Zaragoza, las cuales conservaron, modificaron y actualizaron este tipo de enseñanza que se imparte hoy en día.

B) ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CUAUTITLÁN (ENEP), DESPUÉS FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN (FES-C), DE 1974 A LA FECHA

En 1974, se inauguró la ENEP en Cuautitlán, Estado de México, con los mismos planes y programas de estudios de las carreras de la Facultad de Química. Los profesores que impartieron el LCB habían tomado los mismos cursos que los de dicha Facultad y, por tanto, tenía los mismos principios y prácticas que la original.

Etapas de desarrollo

Después del primer año, en 1975, hubo un cambio progresivo en los procedimientos de trabajo y en el contenido académico. Primero se regularon los horarios, se acreditaron las asistencias en un horario fijo, se trabajó con grupos de 40 alumnos y dos profesores. El trabajo en el aula se organizó con equipos de dos estudiantes y se formalizaron los créditos.

En cuanto a la parte académica, los profesores Carlos Castañeda, Santiago de Hoyos, Gloria Soto, Armando Sánchez y varios más, organizaron seminarios para unificar criterios y formar nuevos profesores. En estos años se expusieron y discutieron las Teorías sobre el Conocimiento y la Información, los métodos de Enseñanza Activa, a autores como Bachelard, Bunge, Gortari y Luzuriaga y sobre todo la Dialéctica de lo Concreto de Kosik, (1967) donde se plantea que “los fenómenos ocultan a la esencia, razón por la cual existe la Ciencia y los fenómenos naturales (concreto

dado) no tienen que ver con el cómo y el porqué suceden, por lo tanto hay que escudriñarlos, perturbarlos mediante la experimentación, para identificar y encontrar las relaciones entre las variables que intervienen en él y llegar al conocimiento (concreto pensado)”.

Estos seminarios desarrollaron entre los maestros una penetración cultural y un gran entusiasmo por una nueva enseñanza, se diseñaron nuevas prácticas para ayudar a los alumnos a entender el porqué de la actividad científica y cómo con ella se podían entender los fenómenos, o sea, conocer su esencia y avanzar en la construcción del conocimiento.

La práctica que mejor representa la influencia de Kosik es el de la caída de un cuerpo en un plano inclinado. Mediante un carrito, un timbre y una cinta con papel carbón se obtiene una impresión de puntos, con pequeñas fracciones de tiempo, de la distancia recorrida por el carrito, mediante gráficas con los datos obtenidos se identifica el efecto de las distintas variables que afectan relaciones de velocidad y aceleración a las que pueden añadirse la variación de la altura del plano y la masa del carrito.

Los profesores del LCB partieron de algunas premisas como que “una escuela superior es un lugar donde no sólo se reciben ciertas informaciones o se aprenden de ciertos temas, sino un lugar donde se va a aprender a aprender para que sea ésta la forma de actualizar conocimientos a la velocidad que el avance de la ciencia actual lo requiere”.

“Es imposible separar al individuo de las circunstancias que lo rodean y en este momento esas circunstancias son de cambio constante”.

“Nuestras escuelas, más que enseñar cómo se resuelve un determinado problema, deben enseñar cómo planear y organizar nuestras actividades, cómo desarrollar nuestra capacidad de observación y análisis para resolver cualquier problema. Propiciar el desarrollo de la creatividad mental, sin encerrarla en marcos rígidos en los que ha desaparecido la iniciativa personal y se ha perdido la razón del qué y para qué se hacen las cosas, debe ser nuestro objetivo” citado en la tesis de Hurtado de Mendoza (1977).

Estas premisas se concretaron en la actualización de prácticas, metodología y evaluación:

Para el LCB I se eligieron experimentos de Física, por tener un mayor nivel de objetividad; en tanto, para el LCB II se diseñaron prácticas de Química, por suponerse que el alumno había adquirido ya conocimientos suficientes sobre modelos y su manejo. Se introdujo una Guía Metodológica, con una serie de preguntas que destacan los aspectos importantes de las prácticas, sobre las que los estudiantes deben centrar su atención; al mismo tiempo que una guía para la observación que los estimulara a aprender a sacar sus propias conclusiones.

Se evaluaban cuatro fases en el aprendizaje: el plan de trabajo y los objetivos; el desarrollo de la práctica en el laboratorio; el reporte y sus conclusiones, sobre todo la exposición oral del trabajo realizado. Se consideró que si la comunicación escrita es importante bajo los lineamientos del discurso científico, más importante es la comunicación oral, por ser la que usamos en todos los ámbitos de nuestra existencia y debía contener además de los puntos mencionados, el logro de los objetivos y, si no se alcanzaron, las dificultades encontradas, la forma en que fueron resueltas, las conclusiones obtenidas y si es posible, una demostración de alguna fase del experimento (González y Janovitz, 1982).

Otra aportación es la de Ana María Aguirre, Marcela Astorga y Margarita Sánchez (1984) en el documento *Proposición de un Curso Experimental Integrado: Histórica, Metodológica y Conceptualmente*, en el que las todas las prácticas se llevan a cabo basándose en el estudio de los gases.

Estos artículos muestran como, mediante seminarios, lecturas y un entusiasmo por su docencia, algunos profesores aportaron enfoques y soluciones para la evolución del LCB.

Etapa de consolidación

La FES Cuautitlán (1991) publicó dos folletos: *Introducción a la Organización Académica del Laboratorio de Ciencia Básica I* (1991) e *Introducción a la Organización Académica del Laboratorio de Ciencia Básica II*, que recogen los anteriores proyectos e inquietudes y describen las características fundamentales que los profesores de los LCB consensuaron y adoptaron, comprende:

a) Fines de la Educación

Se basan en el informe presentado a la UNESCO, en 1972, coordinado por F. Faure, del que se recogen los párrafos más representativos:

(...) se ha puesto en evidencia la debilidad de ciertas formas de instrucción y la fuerza de otras, han ensanchado las funciones del autodidactismo y aumentado el valor de las actitudes activas y conscientes para la adquisición de conocimientos. El prestigio de las enseñanzas fundadas en la reflexión va agrandándose.

En lo que debemos hacer hincapié es que lo fundamental del proceso educativo es en la formación del alumno y no en la información proporcionada; o bien que lo importante es lo que sabe hacer y no lo que sabe.

“Aprender a aprender, en forma que se puedan ir adquiriendo nuevos conocimientos a lo largo de toda la vida”, “aprender a amar al mundo y hacerlo más humano” y “aprender a realizarse en y mediante el trabajo creador”.

b) Las estrategias educativas

Los métodos didácticos utilizados se plantean considerando las diferencias en el ritmo de aprendizaje de los alumnos, los conocimientos y la formación previa de los estudiantes para elevar su nivel de conocimientos y estimular su formación.

Se definen las siguientes funciones del profesor como: ser compañero y guía del estudiante, ayudarle a canalizar sus inquietudes y capacidades, descubrir sus deficiencias e indicarle cómo superarlas, evitar actitudes paternalistas, el ejercicio de la autoridad y que durante el trabajo aparezcan conductas que establezcan diferencias jerárquicas.

c) La organización académica del Laboratorio de Ciencia Básica

El LCB será un laboratorio dinámico y de participación colectiva, para lo cual las actividades serán producto de todos los maestros que

ahí laboran. Se mantendrán en revisión permanente y cada profesor dispondrá de tiempo para desarrollar, además de sus actividades docentes, otras actividades relacionadas con el LCB que tengan como objetivo la superación académica, tanto del docente como del alumno, y por consiguiente del LCB.

d) Los contenidos

En el LCB I (1991), las prácticas se clasificaron en fenómenos directamente observables y fenómenos no directamente observables. En el LCB II (1991), se consideraron como proyectos y se relacionaron con el equilibrio químico, contemplando los temas que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. FES Cuautitlán. Contenidos de unidades y prácticas en los manuales de los LCB

Primera etapa (1991-2009)		Segunda etapa (2009-2010)	
Laboratorio de Ciencia Básica I		Laboratorio de Ciencia Básica I	
Unidades	Prácticas	Unidades	Prácticas
I. Introducción a la Metodología Experimental	Relación masa volumen. Solubilidad	Comportamiento físico	Determinar la relación entre longitud de deformación y su masa
II. La caída de los cuerpos	Tipo de movimiento de un cuerpo al caer por un plano inclinado	Comportamiento fisicoquímico	Determinar la relación entre masa y volumen
III. Comportamiento químico y electroquímico	Observar el comportamiento de algunas sustancias. Clasificar. Elaborar un modelo explicativo	Comportamiento químico	Determinar el comportamiento de soluciones acuosas con ácidos y bases, eléctrico y electroquímico
Laboratorio de Ciencia Básica II		Laboratorio de Ciencia Básica II	
I. Equilibrio Químico	Reacción NH_4SCN y cloruro férrico, en cantidades variables. Elaborar un modelo	I. Equilibrio químico	Determinación de la constante de equilibrio
II. Equilibrio ácido base	Determinación de concentraciones. Uso de indicadores		Reacciones oxidorreducción en solución acuosa
III. Cinética química	Determinar la relación tiempo y concentraciones. Influencia de la temperatura		Determinaciones de pH Ácido base en solución acuosa. K_a y pK_a
			Distribución de un soluto entre dos disolventes no miscibles
			Influencia de la temperatura en la solubilidad
			Efecto del ión común en la solubilidad

Los actuales programas de los LCB (2010)

La introducción de los manuales de LCB I y II, publicados por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (2010) explican que actualmente:

El LCB se define como una asignatura de carácter experimental, en la cual se promueve el desarrollo de las capacidades de los alumnos a través del desarrollo de experiencias de aprendizaje. La filosofía del LCB parte de reconocer que al alumno como un sujeto potenciado, del cual se reconocen tres dimensiones básicas: el nivel cognoscitivo, el nivel de habilidades y el nivel afectivo. Estas dimensiones quedan circunscritas en los dominios de aprender a aprender, aprender a hacer y aprender a ser, los cuales han sido retomados de los conceptos de aprendizaje del informe de E. Faure y que se retoman como objetivos propios de la asignatura.

Se abordan la resolución de problemas del campo de la Física, Química General y Fisicoquímica, para presentar al alumno un panorama diversificado de problemas que se resuelven metodológicamente, con base en la construcción de un objeto de estudio característico.

Contenidos

En el LCB I (2010) se consideran como Proyectos y problemas alrededor del comportamiento físico, fisicoquímico y químico de la materia.

En el LCB II (2010) como unidades y actividades experimentales a partir del estudio del equilibrio químico, como se muestra en la **Tabla 2**.

Evaluación: teórica (25%), trabajo de laboratorio (30%), prerrequisitos e investigación bibliográfica (20%) e informes de trabajo (25%).

Análisis y comentarios

A lo largo de la historia del LCB se conservó básicamente el marco teórico original y se siguió considerando el Método Científico como único método que permite el aprendizaje. Se dio mayor importancia al proceso de formación que a la transmisión de conocimientos y adaptando los fines que propone Faure para el proceso educativo, se insistió en el aprender a aprender, aprender a hacer y aprender a ser.

En el documento de 1991 se plantearon nuevos enfoques en la selección de prácticas y que con pocas variantes aparecen en los actuales programas de los LCB I y II. La reestructuración reunió y comprometió a los profesores y permitió captar y formar nuevos profesores para esta asignatura, la mayoría de los cuales no pertenecen a otros departamentos. Se formaron en el LCB y se han dedicado a impartir esta materia y desarrollar una metodología propia que tiene el inconveniente de no cooperar con otras disciplinas.

En una primera etapa se dio mucho énfasis en la valoración del aprendizaje a través de la exposición del trabajo efectuado (sobre todo los proyectos). Después se ha recurrido a otras formas, como la evaluación sumatoria, con distintos porcentajes para cada una de las actividades: diseño experimental, informe de trabajo, trabajo experimental y examen, lo cual no ha garantizado el aprendizaje significativo de los conceptos.

Las metas fijadas en los LCB tales como desarrollo de las capacidades de los alumnos a través del desarrollo de experiencias de aprendizaje, en los tres niveles: cognoscitivo, de habilidades y afectivo, son difíciles de evaluar y, por tanto, lo son también los criterios a aplicar cuando se quiere detectar actitudes, habilidades y comprensión de los conceptos importantes, objeto de la enseñanza y necesarios para acreditar los cursos.

Para evaluar objetivamente el proceso enseñanza-aprendizaje llevado a cabo por el LCB, sería necesario evaluar al alumno, al sistema y al maestro, en función de los objetivos de la carrera; también, si el Método Científico estuvo diseñado para estimular la actitud investigadora del estudiante, eso se debería evaluar también. La formación y las habilidades aprendidas en LCB chocan con la enseñanza tradicional del resto de las asignaturas y crean confusión. Sería conveniente que en los planes y programas de estudio se evitara ese conflicto.

Con base en la diversidad de los conocimientos y la formación de los estudiantes que ingresan en la universidad, los LCB ayudan, en cierta forma, a nivelar esa diversidad. Como lo manifestó una alumna, cuando se le preguntó si consideraba conveniente eliminar el LCB del plan de estudios: “No sería conveniente que quitaran Ciencia Básica,

pues es un puente que nos permite ir de la prepa a entender los razonamientos y conceptos necesarios para cursar la carrera”.

**EL LCB EN LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS (LCB-A)
DE LA FES CUAUTTLÁN: EL LABORATORIO ÚNICO**

En las reuniones de profesores que desarrollaron el LCB se presentó la problemática que exponen Janovitz y González (1984) en el documento “La enseñanza Inter y Multidisciplinaria en los LCB”, que se resume en:

- 1) El crecimiento de los conocimientos en química llevó a clasificarlos en distintos capítulos: cuántica, inorgánica, orgánica, fisicoquímica, bioquímica, entre otros, lo cual a su vez dio origen a la creación de asignaturas independientes con sus correspondientes laboratorios de apoyo. Esta situación muestra a la ciencia como si estuviera fragmentada, sin vinculación entre sus diversas áreas.
- 2) Existe también una ruptura similar entre los fines de la educación y las áreas profesionales, como si ambos fueran independientes uno del otro.
- 3) Si el LCB ha sido el primer paso firme, a nivel facultad, para lograr cambios en la enseñanza experimental, necesariamente hay que añadir que dura demasiado poco para lograrlo, sólo dos semestres. Los conocimientos adquiridos en la metodología experimental básicamente se pierden en el transcurso de los siguientes semestres cuando el alumno se enfrenta con los laboratorios tradicionales.

La nueva carrera de Ingeniería en Alimentos (1976) fue la oportunidad para replantear la enseñanza experimental y estructurarla de tal forma que se diese continuidad al LCB mediante un laboratorio único (LCB I a IV y Laboratorio de Enseñanza Multidisciplinario –LEM– I a V) a lo largo de la carrera y para enseñar a los alumnos a resolver problemas como los que se les presentarán en su futura actividad profesional.

Por otra parte, sólo en la carrera de Ingeniería en Alimentos se retoma la inquietud de proporcionar un conocimiento básico de la industria de México, planteado en la Unidad XII del primer programa del LCB II, de la Facultad de Química. Este enfoque de tipo Ciencia Tecnología y Sociedad está muy presente en los LEM- A (Baristain *et al.*, 1982).

Objetivos generales del Laboratorio Único

- Reorientar la actividad experimental para que sea formadora de buenos profesionistas y prepare los cuadros de investigación y desarrollo tecnológico del país.
- Crear un espacio que favorezca la integración del trabajo teórico y experimental, posibilitando con ello, el trabajo interdisciplinario.
- Proporcionar a los universitarios una formación práctica profesional, realista y solidaria con las necesidades de las mayorías.
- Ser uno de los espacios universitarios abocados a estimular la creatividad y originalidad de los esfuerzos de profesores y alumnos, como una respuesta a las necesidades del país.

Estrategias del Laboratorio Único

Para lograr dichos objetivos se requirió que la planeación de la carrera contemplara:¹⁴

- La integración del trabajo experimental mediante temas que permitan la integración de conocimientos teórico-experimentales del currículo con los problemas profesionales.
- Continuidad con el trabajo experimental de los LCB.
- Interdisciplinariedad en el desarrollo del trabajo experimental.
- El orden que se sigue en todos los experimentos es: introducción, información, planeación, experimentación y resultados.

¹⁴ **Nota de los Coordinadores.** De nuevo esta experiencia puede asumirse como Trabajos Prácticos de Investigación y/o Aprendizaje Basado en Problemas.

**Tabla 3. FES-Cuautitlán. Contenidos de unidades y prácticas de laboratorio único (2004).
Laboratorios Experimentales Multidisciplinarios I, II, III, IV y V.**

Área de conocimiento	Temas a estudiar	Experimental: Diseñar, ejecutar y evaluar el proyecto de trabajo para:
Laboratorio experimental multidisciplinario I		
Polisacáridos y Proteínas	Propiedades reológicas, textuales y de estabilidad.	Distinguir las interacciones de materias primas e ingredientes funcionales. Determinar la forma más adecuada de incorporar a los ingredientes. Evaluar el efecto de las condiciones de operación, concentración de ingredientes en las propiedades reológicas, físicas, textuales y estabilidad.
Laboratorio experimental multidisciplinario II		
Operaciones unitarias	Filtración. Centrifugación. Separación por membranas. Extrusión. Reducción de tamaño. Manejo de materiales.	Identificar los fundamentos teóricos de cada operación. Formular el problema experimental mediante diagrama de bloques. Reconocer las variables involucradas. Planear un proyecto, formular hipótesis y establecer la metodología experimental. Desarrollarlo y analizar los datos obtenidos.
Laboratorio experimental multidisciplinario III		
Mecánica de fluidos	Flujo de fluidos. Balances de materia y energía. Criterios de similitud, escalamiento y dimensionamiento. Selección de bombas.	Desarrollar la experimentación que permita determinar las propiedades que intervienen en la transferencia de cantidad de movimiento. Confrontar los elementos teóricos con la práctica experimental de un fluido modelo y la pérdida de presión. Manejar la red de tuberías. Analizar los resultados para poder dimensionarlo a escala industrial.
Laboratorio experimental multidisciplinario IV		
Transferencia de calor	Refrigeración Esterilización. Secado. Evaporación. Congelación.	Integrar la información con la problemática que rige la operación seleccionada y plantear la metodología. Fundamentar las alternativas a partir de la transferencia de calor. Manejar equipos y organización del trabajo grupal.
Laboratorio experimental multidisciplinario V		
Transferencia de masa	Destilación. Deshidratación osmótica. Extracción. Secado. Integración de un plan experimental.	Evaluar el efecto de las variables. Obtener modelos de predicción. Simular procesos de transferencia de masa por computadora. Obtener un producto que satisfaga las necesidades del mercado: valor nutritivo, calidad, costo y carácter innovador.

Primera parte. En los dos primeros semestres, el LCB sigue el mismo programa que todos los LCB y en el tercer y cuarto semestres (LCB III y IV) el estudiante se prepara en metodologías para la determinación de propiedades, análisis químico y microbiológico, obtención de sustancias, etcétera, como aspectos fundamentales del campo profesional.

Segunda parte. Del quinto al noveno semestre, la enseñanza experimental va dirigida a preparar a un buen profesionista para la industria alimentaria de México en los dos aspectos que distinguen a esta carrera:

1. Realizar trabajos de campo, para traer los problemas tecnológicos del país al recinto universitario. Esta integración de los universitarios a los problemas nacionales requirió un currículo que escinde la estructura academicista y adopta una nueva organización académico-administrativa que sentó las bases reales para efectuar una función social.
2. Emplear las plantas piloto, que son laboratorios de investigación y desarrollo dedicados, no sólo a fines pedagógicos, sino también centrados en los problemas de la ingeniería de alimentos, para permitir en últimos semestres realizar tareas de adaptación de tecnologías y/o investigación tecnológica, colaborando con profesores de experiencia.

Evaluación: Se llevará a cabo con la presentación de seminarios e informes escritos que mostrarán cómo el estudiante interactuó con la ciencia de los alimentos y serán elementos indicativos de los logros alcanzados y de la utilidad que tuvo la metodología.

Evaluación de la carrera

En el reporte *Panorama Actual en la carrera de Ingeniería en alimentos y su interrelación con los egresados y la industria* (Pérez Zambrano, 1997) se analizan las asignaturas de mayor aplicación en el ámbito profesional, auxiliándose para ello de las opiniones recabadas en los cuestionarios resueltos por 94 egresados. Lo que originó una revisión del Plan de Estudios.

**Actualización de
la carrera y del
LCB-A, 2004
a la fecha**

Se aceptaron algunos cambios en la programación de los temas. En los LCB-I, LCB-A II y LCB-A III sólo cambian algunas prácticas para dirigir las hacia alimentos.

El LCB-A IV es sustituido por el LEM I más enfocado a temas específicos de la carrera.

Terminan la carrera con un Taller Multidisciplinario en Ingeniería de Alimentos.

**Comentarios
sobre el
Laboratorio Único**

Esta carrera es la única en la FES Cuautitlán que está estructurada alrededor del trabajo experimental, eminentemente enfocado al trabajo profesional. El enfoque Ciencia Tecnología y Sociedad está presente en todas las etapas, de tal manera que en los LEM los alumnos, en el mismo semestre, tienen que estudiar y aplicar los conceptos y la teoría que estudian, programar un proceso, realizarlo y evaluarlo mediante el análisis de las variables que han identificado.

Por su innovación, empuje, fundamentación y resultados, el Laboratorio Único representa para la carrera de Ingeniería en Alimentos el eje fundamental sobre el cual se construye la base de su contexto académico y ha sustentado por muchos años el desarrollo de nuevas tecnologías. La carrera, con el nuevo plan de estudios fue acreditada en 2004 y los Laboratorios Experimentales Multidisciplinarios, certificados en julio de 2009.

COMENTARIO

ARMANDO SÁNCHEZ MARTÍNEZ¹⁵

Haber recordado la lectura y las discusiones que se tuvieron a finales de la década de los setentas alrededor del libro *Dialéctica de lo concreto* (Kosik, 1969) fue algo muy grato. Sin embargo, antes de entrar en el tema una aclaración: la fuente epistemológica en la cual se basó el modelo didáctico experimental del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) y la asignatura *Laboratorio de Ciencia Básica* en la Facultad de Química y en las ahora Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán y Zaragoza, desde hace décadas está rebasada, sobre todo en lo que se refiere a la “reproducción” del llamado método científico. Las tendencias y planteamientos sobre la enseñanza de las ciencias naturales y, en particular de la Química, van en otras direcciones (Driver *et al.*, 1989; Nieda y Macedo, 1998; Pozo y Gómez, 2000; Rutherford, 1997); en particular en México desde la reforma de la educación básica de 1993 (SEP, 1993 a y b; SEP 1994; Sánchez *et al.*, 2001).

ANTECEDENTES

Al inicio de la década de los años setenta tomó fuerza en México la postura de enseñar las ciencias naturales a partir de un supuesto único método científico (Bunge, 1995; Popper, 1973), lo cual influyó en la asignatura del método científico experimental del CCH. De hecho, con base en la reforma educativa de 1972, se plasmó esta visión en la renovación de los libros de texto gratuitos de ciencias naturales de tercero a sexto grado para la educación primaria y en los de secundaria.

¿Una enseñanza integral?

En los inicios de la década de los setenta, como bien relata Rosa Margarita Gómez, en la Facultad de Química de la UNAM se planteó renovar la enseñanza experimental de la Química, poco después de que se inauguraron los CCH y aparecieron los libros antes referidos. Para lograr este objetivo se diseñó una asignatura que se denominó *Laboratorio de Ciencia Básica* (LCB). La pretensión era integrar toda la enseñanza experimental por semestre en una sola asignatura. Como es

¹⁵ Documento dedicado a Carlos Castañeda Estrada y Gloria Soto.

bien sabido, en general “los laboratorios” en las carreras de química son parte de la enseñanza de las asignaturas teóricas, con la mitad de los créditos como valor: una hora de teoría equivale a dos y una de laboratorio, a uno. Por lo mismo, al contar en general las materias de química con su laboratorio, no existe un planteamiento integral de la enseñanza experimental.

**Laboratorio de
Ciencia Básica en
la FES Cuautitlán**

La propuesta de extender el modelo del LCB a todos los semestres se logró primero en la FES Cuautitlán, aunque sólo en la carrera de Ingeniería de Alimentos, que se comenzó a impartir en 1976; posteriormente, en la década de los noventa del siglo pasado, en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec se introdujo en todas las carreras este tipo de enseñanza experimental.

En el LCB se llevaba al alumno, por medio de proyectos, a que con el método científico entendiera cómo se había construido la ciencia y cómo podría él también aprehenderla, con temas claves que se relatan en el capítulo comentado.

Desde los inicios de la FES-C, primera dependencia descentralizada a nivel superior de la UNAM, se profundizó en este modelo de enseñanza experimental y se introdujeron modificaciones y una dinámica de trabajo diferente al de la Facultad de Química (sobre todo con los maestros). Fue ahí donde, de repente, apareció Kosik.¹⁶

Kosik en el LCB

Los maestros de esta materia en la FES Cuautitlán se reunían al final de cada semestre a revisar las evaluaciones de los alumnos y discutir las modificaciones al modelo. Así comenzó mi aparición en dicha facultad en 1976: en las discusiones del semestre que terminaba, como uno de los requisitos del curso de inducción para los maestros nuevos.

En una de las revisiones semestrales a finales de los setenta, se introdujo la discusión sobre los planteamientos de la *Dialéctica de lo concreto* de Karel Kosik. Es pertinente aclarar que aproximadamente

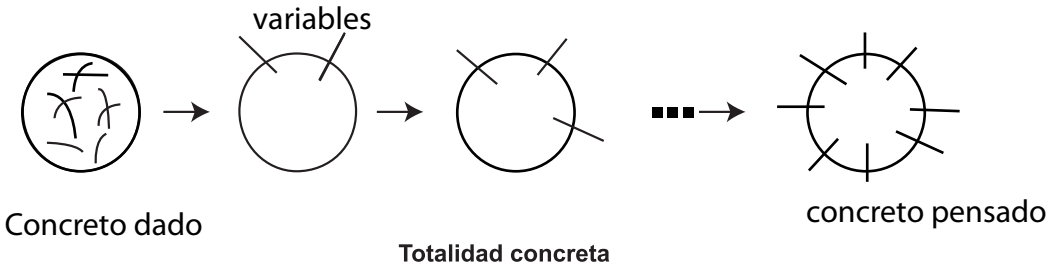
¹⁶ Karel Kosik y el *Laboratorio de Ciencia Básica* como una experiencia innovadora en la enseñanza experimental de la química.

la mitad de los maestros que conformábamos la denominada sección de Ciencia Básica nos reuníamos aparte para profundizar sobre la filosofía de la ciencia y temas muy diversos, por lo que leíamos y discutíamos a otros autores como Ernest Becker o Elías Canetti. Como producto de ambas reuniones se logró, como Kosik plantea en el mismo libro, la compenetración cultural necesaria para que una postura prospere en un colectivo, en este caso de maestros y para el modelo pedagógico de esta asignatura.

En estas discusiones y ya un poco saturados de los planteamientos clásicos de autores sobre filosofía de la ciencia como John Bernal, Karl Popper y Mario Bunge, nos propusimos introducir en la propuesta de Ciencia Básica las ideas de Kosik. De esta manera, según nosotros, se profundizaría en el porqué de la actividad científica y así lograr que el alumno la entendiera mejor.

Kosik plantea que el fenómeno oculta a la esencia, razón por la cual existe la ciencia. Así pues, como se nos presentan los fenómenos naturales no tiene nada que ver con el cómo y el porqué suceden. Por tanto, al fenómeno, como concreto dado, hay que escudriñarlo y perturbarlo mediante la experimentación para identificar y encontrar las relaciones entre las variables que intervienen en él. Con esto, se llega a lo que Kosik denomina el concreto pensado. ¿Y la totalidad concreta de la que habla Kosik y su relación con la enseñanza de la Química en el LCB?

Identificar las principales variables que intervienen en un fenómeno y conocer sus relaciones permite armar el rompecabezas que representa escudriñar los fenómenos. Pero, no son dos variables las que determinan las manifestaciones fenomenológicas. De esta manera, saber de las demás variables con sus múltiples y cruzadas relaciones permite, en principio, “armar” el fenómeno en términos de sus determinaciones, ¿esencias? ¿No está clara con esta argumentación la relación entre la totalidad concreta y la explicación de los fenómenos naturales? El siguiente diagrama, según nosotros, ayudaba a explicar esta relación:



Este “proceso” lo ejemplificábamos al iniciar el primer curso del LCB, con un experimento-proyecto sobre la caída de un cuerpo en un plano inclinado. Para ser justos, más bien fue al revés: impregnamos de Kosik este experimento que se venía realizando desde la génesis de esta asignatura. El alumno identificaba las variables que intervenían, empezando por el tiempo y la velocidad. Un pedazo de una cinta de las antiguas máquinas sumadoras, con papel carbón y copia, pasaba por la chicharra de un timbre al momento de tirar un carrito; de esta manera se tenía una impresión de puntos con fracciones de tiempo pequeñísimas (0.833... s), que le permitían identificar esta relación por medio de representaciones gráficas. Posteriormente se le pedía modificar la altura de la tabla y la masa de los carros, para que integrara más variables. Sin llegar obviamente al modelo matemático, se pretendía que con esta ejemplificación aplicara el método científico versión “kosikiana” en los siguientes experimentos-proyectos para que, en el segundo curso, pudiera realizar proyectos menos dirigidos y más complejos.



De esta manera se planteó una propuesta didáctica para que los alumnos entendieran la naturaleza de la actividad científica y cómo con ella se podían entender los fenómenos, o sea, conocer su esencia y avanzar en la construcción de la totalidad concreta. ¿Qué ha quedado de esta experiencia? No lo sé. Por lo pronto, recordar con mucho agrado al colectivo docente original del LCB en la FES-C y a Kosik gracias al capítulo de Rosa Margarita Gómez, que removió neuronas para producir estas reflexiones... más bien recuerdos.

3.3

REFORMA DE LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL

MARTÍN
HERNÁNDEZ
LUNA

A continuación se reseña lo acontecido en un proceso de transformación de la enseñanza experimental en la Facultad de Química a lo largo de dos décadas, desde 1990 hasta el año 2011.

Desde su inicio en 1994, el Programa de Reforma de la Enseñanza Experimental continúa llevándose a cabo en el laboratorio de Ingeniería Química. Del orden de 400 alumnos cursan las cuatro asignaturas de enseñanza experimental de recién creación en el nuevo plan de estudios (2005).

En respuestas a cuestionarios de evaluación, grupos representativos de estudiantes opinan en su gran mayoría que:

- el tema abordado en el experimento motiva el interés de análisis de la causalidad del fenómeno que se presenta.
- el tema, en la forma que es tratado, motiva el desarrollo de la capacidad para resolver problemas.
- se aportan nuevos conocimientos.
- el procedimiento es ordenado, precisa las condiciones de operación del equipo y manejo de materiales.
- el equipo de proceso funcionó adecuadamente y que la instrumentación es la necesaria (López Murillo, 2008).

También hay grupos minoritarios de estudiantes que opinan en términos de:

- en ocasiones el contenido es demasiado elemental.
- se propone una introducción en cada tema.
- las técnicas de operación son extensas y aburridas. Las recomendaciones son obvias.
- la metodología es tan concreta que no permite al alumno utilizar su ingenio.
- hay preguntas en los cuestionarios repetidas, que confunden y aburren.
- el curso fue muy agradable, el maestro supo motivar y se logró aplicar temas ya conocidos.

Una veintena de profesores imparten los cursos después de haberse capacitado colectivamente, mediante talleres diseñados *ex profeso*. Buena parte de estos profesores seleccionaron los contenidos de las cuatro asignaturas y elaboraron 24 guiones de enseñanza experimental.

Por breve que sea esta somera descripción de lo que acontece en el ámbito de la enseñanza experimental, da bien cuenta de resultados obtenidos al transitar por un largo camino construido por cientos de voluntades y muchas miles de jornadas de arduos trabajos.

Demos espacio al recuento de una secuencia de acontecimientos relevantes que busquen explicar el modo como se fue construyendo este proceso de Reforma de Enseñanza Experimental en la Facultad de Química.

Punto de partida

En el seno del Consejo Técnico de la Facultad, se formó una comisión de estudio sobre enseñanza experimental en 1990. Primera comisión en la historia de este Consejo que abordaba un problema, diríase entonces toral, y cuya primera intención era poner en la agenda académica de la Facultad, en su totalidad, a la enseñanza experimental.

Esta comisión integrada por miembros del Consejo Técnico se dio a la tarea de organizar una larga reflexión colectiva sobre lo que sucedía al interior de los laboratorios de enseñanza. Se constató que en la gran mayoría de los casos, las actividades en los laboratorios se hacían más por obligación que por necesidad. La posición que ella guardaba era como un añadido a la enseñanza teórica, un apéndice de las actividades que se realizan al interior del salón de clase. Excepcionales eran los casos con un objetivo didáctico explícito, con una intencionalidad definida de lo que se buscaba con las tareas realizadas en los laboratorios. Más aún, se percató de la ausencia de nombre al quehacer al interior de los laboratorios. Prácticas de laboratorio, asignatura teórico-práctica, demostraciones de cátedra, manuales de prácticas, etc., términos carentes de precisión, poco descriptivos, que lo que acaso llegan a sugerir es una acción de “practicar”. También, en los planes y programas de estudio de todas las carreras se omitían los contenidos y actividades de laboratorio, propias a las asignaturas teórico-prácticas.

De igual manera, el trabajo realizado por los estudiantes en los laboratorios no se formalizaba en términos cuantitativos de créditos.

Contrastaba esta marcada subestimación con el hecho de que para todas las carreras que se impartían en la Facultad, el 67% de las asignaturas eran teórico-prácticas por 33% teóricas, así como el número de profesores de teoría, 463, por 863 profesores de prácticas.

Definir el rumbo

Ante tal conjunto de síntomas que mostraban las actividades docentes en los laboratorios, esta comisión formada, por cierto, por profesores de distintos departamentos académicos, se dio a la tarea de buscar medidas con el fin de remediar esta inconveniente e indeseable situación.

Las colectivas discusiones tornaban en responder coincidentemente a preguntas del tipo: ¿cuál es la utilidad del laboratorio, se cuenta con el número adecuado de ellos, cómo contribuyen a la formación del estudiante, cómo se definen los temas a tratar, qué debe hacerse en los laboratorios?

Este tipo de interrogantes se planteaban abiertamente por primera vez y merecían algún tipo de solución. Siempre se habían formulado individualmente o en pequeños grupos cerrados y sus respuestas, traducidas en elaboración de prácticas de laboratorio, no pasaban por la revisión, corrección, ni crítica.

Se trataba entonces de dar contestaciones de carácter general, buscando soluciones válidas, independientemente del área de conocimiento. Se llevó a cabo entonces un proceso de discusión colectiva durante algunos meses que llegó a su término, en el momento en que la comisión llegó a un acuerdo unánime, sobre la definición del rumbo a tomar en la totalidad de la Facultad.

Las principales ideas, las premisas que normarían un plan o programa de mejoramiento de la docencia en los laboratorios fueron:

- En todo laboratorio se debe impartir enseñanza experimental.

Propuesta de reforma de la enseñanza experimental

- Mediante trabajo en el laboratorio, el estudiante debe adquirir nuevos conocimientos.
- Se debe definir el papel que juega la enseñanza experimental en la formación de los estudiantes.
- Es imperativo determinar el papel del profesor en la enseñanza experimental.
- Se debe precisar la intervención del estudiante en la enseñanza experimental.

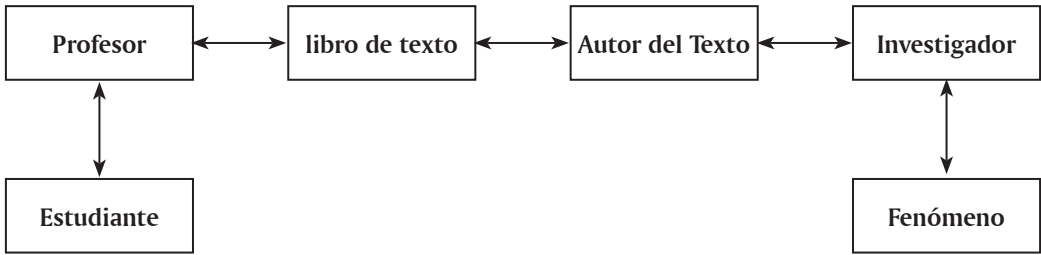
Para dar continuidad y llevar a los hechos las premisas antes planteadas, se formó un grupo de trabajo integrado por profesores de enseñanza experimental.

Con su participación voluntaria, se organizaron un buen número de reuniones de trabajo, con la finalidad de elaborar y definir lo que llamarían los *principios didácticos* de una Reforma de Enseñanza Experimental. Se planteaba como una necesidad imperativa el definir con claridad y precisión el objetivo a perseguir con la nueva forma de enseñanza experimental.

Los resultados obtenidos de esta segunda etapa de trabajo colectivo pueden resumirse en los siguientes términos.

■ ***Papel de la enseñanza experimental***

Permitir que el estudiante tenga una relación directa con los fenómenos, la cual le permita constatar personalmente las manifestaciones de dicho fenómeno y establecer las relaciones de dependencia causa-efecto. Estas últimas orientarán a su vez al estudiante a explicarse por sí mismo el fenómeno y por lo tanto conocerlo, aprenderlo.

Enseñanza experimental: relación directa**Enseñanza teórica: relación indirecta**

■ ***Papel del profesor en la enseñanza experimental***

El profesor debe generar las condiciones que garanticen esas relaciones directas entre el sujeto que aprende y el objeto de conocimiento por encontrar, por aprender.

Le corresponde al docente seleccionar el conocimiento que se desea transmitir; conceptualizar, diseñar o seleccionar el equipo necesario de laboratorio; establecer las condiciones de operación y definir la secuencia de actividades iniciales que el estudiante llevará a cabo. Todo esto debe quedar plasmado en un documento escrito que servirá de guía al trabajo experimental.

El profesor debe “acercar” al estudiante a una cierta distancia del fenómeno, para que el alumno pueda, solo, llegar a descubrirlo.

■ ***Papel del estudiante en la enseñanza experimental***

Mediante la lectura de una guía de trabajo, el estudiante debe tener claro el objetivo que se persigue, debe identificar el problema que se le plantea y saber que debe dar la respuesta correcta al mismo. Debe adquirir un conocimiento detallado de los materiales, equipos e instrumentos a emplear, así como su manejo seguro y confiable.

A partir de la actividad experimental, el estudiante debe establecer relaciones de causalidad en el sistema bajo estudio. Esta constatación de la relación causa-efecto debe ser un acto de libre albedrío del estudiante, él solo debe percatarse de la existencia del fenómeno, y al hacerlo dará al mismo tiempo respuesta al problema planteado.

■ *Principios básicos de propuesta de reforma*

Con la finalidad de presentar en forma concisa y facilitar la difusión de estos postulados, se establecieron los siguientes Principios Básicos que dieron lugar a la Propuesta de la Reforma de la Enseñanza Experimental (Hernández, Llano, 1994).

- 1 La adquisición del conocimiento se da a la luz de las evidencias medibles de los fenómenos que ocurren en el laboratorio.
2. Mediante una relación directa con el fenómeno, el estudiante tiene la vivencia de constatar las relaciones de causalidad existentes y de ubicar en su espacio de origen, a la ley, al concepto o a los conocimientos formales.
3. Estas relaciones de causalidad deben ser encontradas por el estudiante, de ninguna manera debe dársele esta información por anticipado.
4. Debe iniciarse con una pregunta, un cuestionamiento, un problema bien definido, que contenga una incógnita.
5. El estudiante entonces, al estar buscando la respuesta al problema planteado, encontrará esas relaciones causa-efecto del fenómeno inicialmente señalado en el objetivo académico.
6. En el preciso momento que el fenómeno se muestra, el estudiante lo aprende.
7. El estudiante actúa, interviene, maneja los fenómenos y con ello los conoce, los controla y los domina. Esto le debe aportar una seguridad personal en extremo valiosa.

■ *Proyecto de reforma*

El mismo grupo de profesores que elaboraron la Propuesta de Reforma se dedicó a concretar en la realidad los Principios Básicos antes señalados, mediante la selección de temas a enseñar y la elaboración de los llamados *Guiones de Enseñanza Experimental*. Una vez más la participación fue voluntaria y el trabajo preponderantemente colectivo.

Ese primer contacto con la realidad rebasó todas las expectativas, mostró lo inimaginable, permitió constatar los tamaños, el gran número de actividades necesarias, la alta frecuencia de reuniones, la indispensable continuidad, en suma, mucho trabajo a lo largo de periodos insospechados.

Con la creación de la Coordinación de la Reforma de Enseñanza Experimental en 1994, por parte de la Dirección de la Facultad, se gestó el Proyecto de Reforma que abarcaría a todos los departamentos académicos que impartían enseñanza experimental en la Facultad.

El proyecto se inició con la creación del Comité Coordinador, integrado por 12 profesores de cada uno de los departamentos académicos, un coordinador general y un secretario de apoyo.

Ahora bien, a lo largo del trabajo colectivo e interdisciplinario realizado durante tres años, resultó palpable el hecho de que el perseguir cualquier transformación del ejercicio docente vía experimental radicaba, sí y sólo sí, en el profesor: o la reforma pasa por el profesor, o no hay reforma.

Éste fue entonces el principio rector que le dio dirección y estructura al proyecto de reforma: otorgarle al profesor el papel de primer actor, mediante la selección de los temas a enseñar y sobre todo, por medio de la elaboración de guiones de enseñanza experimental.

Se organizó el trabajo mediante grupos de profesores en cada departamento para discutir, adoptar, adaptar y asimilar los principios didácticos. Se establecieron y cumplieron calendarios de reuniones de trabajo y con la ayuda del documento *Lineamientos para la elaboración de guiones de enseñanza experimental*, se establecieron las condicio-

nes para la producción masiva de material didáctico escrito (ver Anexo de actividades experimentales).

El proyecto contó con el apoyo financiero de dos fuentes: del Programa de Apoyo Institucional para el Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) de la UNAM y del Programa UNAM-BID.

Estos apoyos permitieron a su vez establecer la siguiente secuencia:

- Emitir convocatorias a toda la comunidad académica de la Facultad para invitar a profesores a la integración y participación en el proyecto de reforma.
- Incorporación de profesores interesados en los grupos de trabajo ya formados en cada departamento, para la elaboración de guiones de enseñanza experimental.
- Evaluación de los guiones elaborados por un comité formado *ad hoc*.
- Para los guiones aprobados, depuración de las listas de los equipamientos y materiales de laboratorio solicitados y tramitación de su adquisición.
- Participación en la elaboración de las licitaciones de adquisición de los equipos y seguimiento hasta su instalación en los laboratorios.

La siguiente tabla resume lo acontecido en las cuatro convocatorias emitidas

Convocatoria	Profesores participantes	Guiónes presentados	Guiónes aprobados	Aportaciones económicas:	
				PAPIME (pesos)	UNAM-BID (dólares)
1a 1994	85	92	48	850,000	639,000
2a 1995	102	133	86	840,000	1'040,000
3a 1996	220	210	155	1'310,000	700,000
4a 1998	95	122	58	-----	471,000
Totales	228 (diferentes)	557	346	3'000,000	2'850,000

En su conjunto, los 346 guiones aprobados corresponden a 90 asignaturas, el 73% del total que se impartían en la Facultad. Al término de la cuarta convocatoria, se habían implantado 191 guiones en grupos regulares y estaban en proceso de hacerlo los otros 155. Con ello, se habían involucrado en la reforma: 200 grupos de estudiantes, representando el 26% de un total de 750 (ver ejemplo: Descarga de tanques en el Anexo de actividades experimentales).

Este proyecto de Reforma dio lugar también a la aparición de nuevas conductas de los profesores participantes. La intervención de todos ellos fue el resultado de una decisión voluntaria. Se logró la integración de grupos de trabajo interdisciplinario con personal de posgrado y de licenciatura. El desarrollo de los trabajos se hizo mediante la redacción formal de documentos, los cuales se sometieron a revisiones críticas colectivas en los grupos de trabajo. Estos guiones de enseñanza fueron sometidos después a una evaluación formal, por parte de otro grupo de académicos. Salvo contadas excepciones, los resultados de las evaluaciones fueron aceptados y acatados por los profesores. También se elaboraron y aplicaron en forma colectiva instrumentos de evaluación, tendientes a medir el nivel de aprendizaje en los estudiantes. En suma, el quehacer colectivo en esta reforma venció la inercia del trabajo académico tradicional, solitario y acrítico.

*Centro de
formación
permanente
de profesores
de enseñanza
experimental*

Al término de esta etapa de producción masiva de guiones de enseñanza experimental, el Comité Coordinador del proyecto se dio a la tarea de observar las condiciones de su implementación y empleo con los estudiantes. Se encontró entonces que en todos los departamentos académicos se presentaban con frecuencia ciertas anomalías:

- Imprecisiones en los textos, principalmente en las preguntas planteadas en el cuestionario.
- Condiciones insuficientes en los equipos de experimentación que garantizaran mediciones confiables y reproducibles.
- Insuficiencia de material de laboratorio que permitiera un trabajo con grupos reducidos de estudiantes, 2 o 3.
- Conductas no convenientes de los profesores, al adoptar posiciones paternalistas de ayuda al estudiante.
- Dificil asimilación de los principios básicos de la reforma por parte de profesores que no habían participado en la elaboración de los guiones.

Fue entonces que con la finalidad de remediar este tipo de anomalías se decidió organizar talleres de trabajo entre profesores, cuya operación consistía en la alternancia de actividades experimentales con discusiones colectivas. Los profesores, siguiendo los guiones, adoptaban la posición y papel de estudiantes, al resolver el problema planteado por vía experimental. Después discutían con sus colegas aspectos puntuales de los textos escritos, así como reflexiones críticas sobre las actividades manuales de observación, de medición, de confiabilidad de resultados, de adquisición de conocimientos, entre otras.

En otras palabras, se dijo: “para poner al estudiante en el asiento del conductor, primero había que mejorar los hábitos de conducir del profesor”. Las actividades de los talleres se suspendieron en abril de 1999, debido al paro que sufrió la UNAM durante diez meses.

Tuvo que pasar más de un año para reanudar los talleres de la Reforma de Enseñanza Experimental. En el año 2000 se realizaron 6 talleres, con la asistencia de 123 profesores de 11 departamentos académicos y una sección.

Una vez más, esta nutrida y voluntaria concurrencia mostraba el interés y la aceptación de los profesores en esta propuesta de transformación de la enseñanza. Se compartía la idea que esta modificación en el método de enseñanza implicaba un cambio sustancial en la conducta, tanto del profesor como del estudiante, y que tal cambio no podía ser inmediato; que este proceso educativo como tal, imponía su propia cadencia, y exigía tiempos largos de maduración. Tal constatación ameritaba diseñar la siguiente etapa del proceso de transformación. Por lo tanto, la Coordinación de la Reforma de la Enseñanza Experimental elaboró un plan de trabajo de cinco años que fue sometido a consideración de la Dirección de la Facultad. Dicho plan se estructuraba para dar continuidad y permanencia a los trabajos de los talleres, es decir, mediante la creación del Centro de formación permanente para profesores de enseñanza experimental.

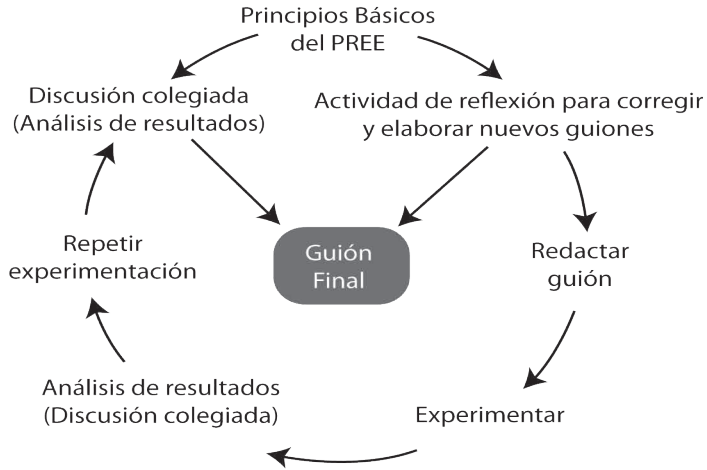
**Transformación del
Laboratorio de
Ingeniería Química**

El Plan de trabajo propuesto tuvo que esperar más de un año para recibir una tibia respuesta verbal. Largo silencio que llevó a la parálisis a la rica y entusiasta vida académica de buen número de profesores de laboratorio. Silencio y respuesta individual que contrastaba con el ambiente académico construido por años en lo colegiado, en la discusión abierta de ideas, en el reconocimiento de la opinión de los otros, en las responsabilidades compartidas. Todo aquello se truncó al aducir que no se debía crear otra organización académica paralela.

Ante tal daño ocasionado, sin lograr en contrapartida algún beneficio a la Facultad, se tomó la decisión de reanudar este proceso de transformación educativo en un espacio posible: el Laboratorio de Ingeniería Química.

En 2003, se invitó a todos los profesores del laboratorio a organizar y participar en un taller de formación permanente, que tuviera la misma dinámica de los talleres anteriores. Como ya era costumbre, la mayoría de los profesores en forma voluntaria integraron un grupo de trabajo con carácter permanente o mejor dicho, incorporaron en sus rutinas de trabajo nuevas responsabilidades derivadas del taller de formación. Las primeras tareas asignadas fueron la revisión de los guiones elaborados, la elaboración de nuevos guiones y la selección de temas por asignatura. La secuencia de actividades que se llevaban a cabo eran:

Diagrama de Actividades del Taller



PREE (Proyecto de Reforma de Enseñanza Experimental)

Como en todo trabajo colectivo sostenido, la continuidad da frutos inesperados. Meses después surgió la necesidad compartida de hacer una reflexión ordenada sobre los conceptos fundamentales de la Ingeniería Química que deberían enseñarse experimentalmente. Esto a su vez, sentó bases sólidas para establecer con precisión los contenidos de las cuatro asignaturas de laboratorio, ahora independientes, del nuevo plan de estudios.

Este grupo de trabajo que nació como un taller, permitió aglutinar al resto de profesores y generó una nueva organización del trabajo del Laboratorio de Ingeniería Química. Se estableció otro organigrama que respondía al carácter colegiado de toma de decisiones en el ámbito académico. Se pueden señalar algunos otros aspectos, resultados de esta transformación:

- Todo nuevo profesor debe pasar por los talleres de formación.
- Todo nuevo equipo de laboratorio obedece a la precisa necesidad del contenido de un guión de enseñanza. Éstos se diseñan, se mandan construir o se seleccionan.

Punto de llegada

- Todos los guiones de enseñanza fueron terminados oportunamente para la impartición de los cuatro laboratorios del nuevo plan de estudios, de 2007 a 2009.
- Todos los guiones de las cuatro asignaturas se someten a evaluación por parte de la totalidad de los estudiantes al final de cada semestre.

A lo largo de toda esta reforma se han publicado: recopilación de guiones, manuales de laboratorio, trabajos presentados en congresos y artículos, para un total de 19 referencias. Siendo ésta una pequeña muestra de las labores realizadas por los profesores.

Ahora bien, no cabe la menor duda de que el producto final de todo este proceso de cambio pedagógico radica en la formación de los estudiantes. En ellos deben cristalizar las intenciones y esfuerzos de todos los participantes, razón por la cual es indispensable conocer en forma confiable y con certeza los beneficios logrados. A lo largo de estos años siempre estuvo presente la necesidad de evaluar formalmente los niveles de desarrollo de capacidades y adquisición de conocimiento de los alumnos. Una primera evaluación sobre un guión mostró resultados positivos y alentadores (Llano, 1997). Una segunda evaluación hecha 15 años después, sobre los contenidos de una asignatura completa, también muestra beneficios tangibles en un grupo de estudiantes (López Murillo, 2008). Se cuenta sólo con dos mediciones, ya que no era posible invertir más tiempo en ellas, debido a la carga de trabajo que requerían las actividades descritas.

Una enseñanza experimental transformada se imparte a 400 estudiantes, semestre con semestre, la cual se acompaña de instrumentos de evaluación que incluye a la totalidad de ellos y se aplican continuamente.

Evaluaciones que deben cuantificar los beneficios obtenidos y las fallas más notorias detectadas, pero sobre todo aportan un camino sólido, seguro y con dirección por el cual puedan transitar profesores y alumnos de enseñanza experimental. Quedamos a la espera de los resultados de esta evaluación...

COMENTARIO

ANDONI GARRITZ RUIZ

Introducción

El escrito de Martín Hernández Luna es un fiel reflejo de lo acontecido en la Facultad de Química, durante el tiempo en el que se mantuvo el proyecto de Reforma de la Enseñanza Experimental desde su creación hasta nuestros días. En esta réplica de su trabajo, voy a dar algunos elementos teóricos que apoyan el aprendizaje por descubrimiento, en el que se basa este proyecto de Reforma y daré también mi opinión sobre el mismo.

En la introducción del trabajo, llamada '*Un resultado de la reforma*', se da una muestra clara de la aplicación de la misma en el laboratorio de Ingeniería Química, con opiniones a favor (mayoritarias), aunque también en contra, más la referencia a la capacitación requerida por los profesores. Nunca podrá haber consenso en una aplicación educativa si la evaluación es hecha con verdadera libertad, dados los múltiples estilos de aprendizaje de los estudiantes.

A partir de esa introducción se va dando cuenta paulatina del desarrollo del movimiento de reforma, cómo fue acrecentándose el número de guiones de enseñanza experimental con las normas sentadas en él.

El punto de partida fue un estado de enorme variabilidad en los fines y el desarrollo de la enseñanza experimental en las diferentes asignaturas de la Facultad, aunque en todas ellas era como un añadido a la enseñanza teórica, sin un propósito declarado, aun en los planes de estudios. Todo ello a pesar de que la mayor parte de las horas dedicadas por los alumnos para cursar las cinco carreras eran teórico-prácticas, y había el doble de profesores de las actividades prácticas con relación a las teóricas.

Jerome Bruner y el aprendizaje por descubrimiento

En la sección llamada *Propuesta de reforma de la enseñanza experimental* se plasman, de forma casual toda una serie de normas que años antes habían sido declaradas por Jerome Bruner, como aspectos clave de la enseñanza por descubrimiento, por lo que conviene recordar un poco la obra de este psicólogo cognitivo estadounidense, nacido en Nueva York en 1915.

Escribía Bruner en 1966 que había que explicar con cosas, no con palabras, es decir, haciendo cosas, no solamente hablando:

Lo que parece ser muy obvio psicológicamente puede oscurecer algunos de los más importantes secretos de la vida. Y el secreto, por supuesto, es que la mente es una extensión de las manos y las herramientas que se usan y los trabajos en los cuales se aplican... Nuestros ancestros sabios seguramente entendían la expresión *non verbis sed rebus*, explicando con cosas, no con palabras, es decir, entender al hacer algo, no sólo hablando (Bruner, 1966, p. 151).

La aproximación inicial de Bruner al proceso de educación consistió en que los alumnos construyeran sus propios conocimientos mediante el descubrimiento de los contenidos, principalmente por medio de la enseñanza experimental. El planteamiento de Bruner estaba dirigido a los estudiantes, para quienes el docente debía conducirse como un guía experimental, más que como un expositor de contenidos. Sus estudios en el campo de la Psicología Evolutiva y la Psicología Social estuvieron enfocados en generar cambios en la enseñanza, que permitieran superar los modelos reduccionistas, mecanicistas del aprendizaje memorístico centrado en la figura del docente, y que impidieran el desarrollo de las potencialidades intelectuales de los estudiantes. Cuando Bruner propone que “La cultura forma la mente”, el contexto era de preocupación sobre cuestiones como la producción y negociación de significados. Es entonces que el aprendizaje por descubrimiento surge como una alternativa a la manera tradicional como se venían impartiendo las clases, en una época en que algunas áreas del conocimiento como la Física y la Química estaban dando respuestas a los diferentes problemas sociales.

En la teoría del aprendizaje por descubrimiento desarrollada por Bruner, el método del descubrimiento guiado implica dar al aprendiz la oportunidad de involucrarse activamente para construir su propio aprendizaje a través de la acción directa; y su finalidad es impulsar un desarrollo de las habilidades que posibilitan el aprender a aprender. El aprendizaje ocurre por la reorganización de las estructuras cognitivas como consecuencia de procesos adaptativos al medio, a partir de la asimilación de experiencias y acomodación de las mismas, de acuerdo con el equipaje previo de las estructuras cognitivas de los aprendices. El eje fundamental de esta teoría es la construcción del conocimiento mediante la inmersión del estudiante en situaciones de aprendizaje problemá-

ticas, concebidas para retar la capacidad del aprendiz en la resolución de problemas, diseñados de tal forma que el estudiante aprenda descubriendo (Shulman & Keislar, 1974).

En su escrito, nos dice Martín Hernández Luna que el papel de la enseñanza experimental se construyó para “permitir que el estudiante tenga una relación directa con los fenómenos. Una relación que le permita constatar personalmente las manifestaciones del fenómeno y establecer las relaciones de dependencia causa-efecto, que, a su vez, permitan al estudiante explicarse por sí mismo el fenómeno y por lo tanto conocerlo, aprenderlo”. Para ello la enseñanza experimental se montó sobre ‘los guiones’, con la ayuda del documento *Lineamientos para la elaboración de guiones de enseñanza experimental*.

La enseñanza por descubrimiento asegura un conocimiento significativo y fomenta hábitos de investigación disciplinaria. Tal enseñanza busca alcanzar objetivos de aplicación para que el alumno traduzca o interprete lo comprendido, es decir, supone una comprensión previa de un método o concepto. Este método tiene variadas formas de adquirir conceptos que son apropiadas para alcanzar diferentes tipos de objetivos, y es muy útil para individuos con diferentes niveles de capacidad cognitiva.

Los siete Principios Básicos que dieron lugar a la Propuesta de la Reforma de la Enseñanza Experimental (Hernández-Luna & Llano-Lomas, 1994) reúnen los métodos de descubrimiento caracterizados por Bruner: Descubrimiento inductivo, deductivo y transductivo (Shulman & Keislar, 1974).

Descubrimiento inductivo. Implica la colección y reordenación de datos para llegar a una nueva categoría, concepto o generalización. Su fin principal es proporcionar experiencia en el proceso de categorización o clasificación. La enseñanza se dirige a “aprender cómo aprender” en el sentido de aprender a organizar datos.

Descubrimiento deductivo. Implica la combinación de ideas generales con el fin de llegar a enunciados específicos, como en la construcción de una conclusión. Conlleva a hacer preguntas que dirigen al estudiante a formar deducciones lógicas que pueden dar lugar a que corrija los enunciados incorrectos que haya hecho.

Descubrimiento transductivo. El individuo relaciona o compara dos elementos particulares, y advierte que son similares en algún aspecto. Se conoce más comúnmente como *pensamiento imaginativo*. El fin general de la lección sería desarrollar destrezas en los métodos de búsqueda. Los factores que afectan al descubrimiento son cuestiones tales como el material, la familiaridad del sujeto con él y la cantidad de tiempo disponible para la experimentación, por mencionar algunos.

La indagación

La teoría del aprendizaje por descubrimiento de Bruner enuncia tres premisas fundamentales:

1. Nuestro conocimiento del mundo constituye una construcción o modelo que cambia constantemente, se adapta a nuevas situaciones y permite hilar con cierta anticipación para predecir cómo será o podría ser el mundo, y anticipar determinados resultados.
2. Toda cultura impone a sus miembros modelos estructurados del mundo y la realidad.
3. En la interacción con el entorno, las experiencias y todo lo que percibimos, se procesa, codifica, selecciona, simplifica y representa, mediante el proceso de categorización, que consiste en la creación de modelos o representaciones de la realidad, a través de los cuales separamos o discriminamos lo que es importante de lo que no lo es. La categorización ayuda a simplificar la percepción del medio, facilita encontrar semejanzas en acontecimientos diversos, elimina la necesidad del reaprendizaje constante, permite poner en práctica una conducta determinada en muchas situaciones distintas y mejora la capacidad para relacionar objetos y acontecimientos (Shulman & Keislar, 1974).

Vale la pena indicar, entonces, que el descubrimiento por indagación permea el método del aprendizaje por descubrimiento. Hemos escrito en otras partes (Garritz, 2010; Espinosa-Bueno, Garritz, Labastida-Piña & Padilla, 2010; Espinosa-Bueno, Labastida-Piña, Padilla & Garritz, 2011) acerca del impacto de la indagación en la enseñanza y la importancia que ha tomado desde que fuera incluida en los Estándares

Nacionales de la Educación de Ciencia en los Estados Unidos (NRC, 1996). Allí se indica una definición interesante de indagación (*inquiry*):

Inquiry is a multifaceted activity that involves making observations; posing questions; examining books and other sources of information to see what is already known; planning investigations; reviewing what is already known in light of experimental evidence; using tools to gather, analyze, and interpret data; proposing answers, explanations, and predictions; and communicating the results. Inquiry requires identification of assumptions, use of critical and logical thinking, and consideration of alternative explanations. (p. 23)

El trabajo del *National Research Council* fue posteriormente refinado en los términos de indagación por otro libro dedicado por completo a la indagación (NRC, 2003). Aquí sólo apuntaremos un par de frases de Joseph Schwab (1909-1988), quien fue una voz influyente en la década de los años sesenta del siglo pasado en establecer esta visión de la educación científica. Schwab arguyó que la ciencia debería verse como estructuras conceptuales que eran frecuentemente revisadas como resultado de nuevas evidencias.

Su visión sugirió que los profesores deberían presentar la ciencia como una indagación y que los estudiantes deberían emplear esta indagación para aprender los temas de la ciencia. Para lograr estos cambios, Schwab recomendó que los profesores de ciencia utilizaran primero al laboratorio y usaran estas experiencias para guiar, más que como continuación de, la fase de la enseñanza teórica de las ciencias.

El trabajo de laboratorio del programa tiene características especiales que son paralelas a la utilización de artículos originales en el curso... Las características peculiares del trabajo de laboratorio son la marcada escasez de instrucciones explícitas para proceder y de resultados “correctos” predeterminados a los cuales el alumno va a llegar.

Las instrucciones de procedimiento detalladas y su objetivo señalado son los recursos iniciadores del trabajo en el laboratorio, cuando la intención es dar las técnicas y hacer vívido o significativo el contenido de la lectura y el libro de texto. El laboratorio del programa de ciencia acepta una medición de estas responsabilidades. Dedicar mucho de su tiempo a exhibir los fenómenos inmediatos con que las lecturas o los libros abordan como situaciones problema (Schwab, 1978, p. 59).

Críticas y pros del aprendizaje por descubrimiento

Ha habido un sinnúmero de críticas recientes a este método de aprendizaje. Veamos algunas y sus argumentos. Campanario y Moya (1999; p. 181), por ejemplo, nos dicen que

Tanto las evidencias experimentales como los análisis críticos pusieron de manifiesto inconsistencias y deficiencias en el aprendizaje por descubrimiento. Está basado en unas concepciones epistemológicas hoy día superadas. Con su énfasis en la observación y en la formulación de hipótesis, este enfoque tiene mucho que ver con las concepciones excesivamente inductivistas sobre la ciencia y el trabajo científico.

Hodson (1994), por su parte, es sumamente crítico cuando indica que:

Existe una fuerte corriente de opinión cuyo mensaje es que el aprendizaje por descubrimiento es epistemológicamente equivocado, psicológicamente erróneo y pedagógicamente impracticable (...) La preferencia de los procedimientos frente a los contenidos es muy discutible: lo demuestran las investigaciones sobre las ideas previas de los alumnos y, en contra de la supuesta independencia del pensamiento formal, los contenidos concretos sí son importantes a la hora de aprender ciencias.

Sin embargo, once años después Hodson (2005) nos dice que existen cuatro vertientes en las cuales se sustentan los argumentos a favor del trabajo práctico en el laboratorio (*cognitiva, afectiva, basada en habilidades* y lo que podríamos llamar el argumento de *manejo de la clase*).

Los argumentos cognitivos nos dicen que el trabajo práctico ayuda y promueve el entendimiento conceptual; los argumentos afectivos son simples y directos, ya que este tipo de trabajo motiva y genera interés en los estudiantes, quienes lo disfrutan; los argumentos de habilidades aseguran que esta práctica promueve el desarrollo de capacidades de laboratorio para el manejo seguro y acucioso del equipo, al igual que de procesos (observación, medición, clasificación, planteamiento de hipótesis, entre otros) y como se realiza en grupos, apoya las habilidades sociales e interpersonales; finalmente el argumento de manejo de la clase se basa en la necesidad de variar los estímulos para el aprendizaje, dados los diferentes estilos estudiantiles.

Psillos & Niedderer (2002) se refieren a las razones por las cuales la investigación no soporta nuestra creencia de que el trabajo práctico es capaz de lograr las metas de aprendizaje que se buscan (aquí la crítica es contra la enseñanza experimental, de cualquier tipo que sea):

Razón 1. *Trabajo práctico* es un término demasiado grueso, en una categoría muy grande, que necesita ser refinada.

Razón 2. Los profesores no hacen siempre (quizás sólo rara vez) lo que dicen que harán. En otras palabras, hay un abismo significativo entre teoría y práctica.

Razón 3. Los alumnos no siempre realizan lo que los profesores intentan o esperan. No leen todas las instrucciones, fallan en identificar entre qué es lo significativo y qué lo poco importante, carecen de las habilidades necesarias para coleccionar datos confiables o se aburren antes de llegar al final.

Razón 4. El trabajo práctico frecuentemente no funciona, en el sentido de que nos da resultados no concluyentes, inconsistentes o no esperados y, en ocasiones, ningún resultado.

A pesar de las muchas limitaciones que hemos mencionado, yo pienso que el aprendizaje por descubrimiento y por indagación tiene muchos aspectos positivos en la enseñanza:

- Los alumnos se hacen responsables de su propio aprendizaje, es decir, se tiene una vertiente constructivista.
- El aprender a descubrir implica toda una prueba con relación al trabajo científico original, por lo que en este enfoque está presente el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia.
- Aprender a detectar anomalías puede ser muy provechoso para los alumnos, pues es otra característica de la serendipia en la observación científica.
- No cabe duda de que enseñar a los alumnos a observar con ojos críticos es una de las aportaciones más dignas de consideración de una teoría del aprendizaje y la enseñanza.

Además, Lee Shulman, el creador del concepto *Conocimiento Pedagógico del Contenido*, es otro psicólogo estadounidense muy renombrado, quien defiende el aprendizaje por descubrimiento (Shulman & Keislar, 1974), lo cual merece todo mi respeto y reconocimiento.

Se dice que el mayor “pero” del aprendizaje por descubrimiento es la cantidad de tiempo que el estudiante debe emplear para develar los fenómenos experimentalmente, pero para mí esto es un argumento convincente de su operatividad y su éxito. Por todo ello respaldé totalmente al Proyecto de Reforma de la Enseñanza Experimental en la Facultad mientras fui su Director. El haber decidido que los apoyos más importantes del proyecto de la UNAM con el Banco Interamericano de Desarrollo iban a canalizarse para los proyectos que siguieran el rumbo de la Reforma, fue una manera de convencer a los grupos de profesores para generar en su departamento y en sus asignaturas los guiones de enseñanza experimental, de acuerdo con las inteligentes y claras normas previstas. Con orgullo presencié cómo nuestros laboratorios se fueron poblando de equipo para realizar microescala, de microscopios de última generación, de equipos franceses notables en el laboratorio de Ingeniería Química y de tantos otros ítems de última generación internacional. Quizás no fue una medida del todo popular, pero fue útil para que los académicos tomaran una decisión con respecto a homogeneizar los objetivos y medios de la enseñanza experimental en la Facultad, lo cual estoy seguro que está siendo positivo para el aprendizaje estudiantil en ella, como han venido demostrando sus evaluaciones (Llano-Lomas, Muller-Carrera, Miklos, García-Murguía & Hernández-Luna, 1997).

3.4

MICROESCALA

ELIZABETH NIETO CALLEJA,
MIGUEL GARCÍA GUERRERO Y
ROSA MARÍA GONZÁLEZ
MURADÁS

Sin duda la ciencia es una actividad práctica, además de teórica, y una gran parte de la labor científica tiene lugar en los laboratorios (Izquierdo, 1999). Por más de un siglo, las experiencias de laboratorio han pretendido promover metas de la educación en ciencias, como la comprensión por los estudiantes de los conceptos científicos y sus aplicaciones, el desarrollo de habilidades y destrezas experimentales, habilidades de pensamiento para la resolución de problemas, comprender cómo la ciencia y los científicos trabajan, fomentar el interés y la motivación, entre otros (Hofstein, 2007).

Vivimos en una época de acelerados cambios socioculturales, los cuales están generando nuevas visiones acerca de la actividad científico-tecnológica, lo que se proyecta en una búsqueda de mejores condiciones de vida para millones de personas en el mundo, pero implica también un manejo responsable de los recursos y la generación de un menor impacto ambiental (De Pablo, 2004). Ciertamente, la Química debe ir paralela a los cambios que se den con la evolución de las sociedades, proponiendo nuevas alternativas en el manejo y utilización de los productos químicos, así como del tratamiento de residuos (Arnaiz, 1999).

Los retos de mantener un ambiente libre de contaminación y cómo manejar los desechos químicos son temas de creciente preocupación para todos los científicos, educadores y público en general. La mejor manera de tener éxito en este esfuerzo es mediante la eliminación de residuos químicos desde la fuente misma en que se originan. La reducción del uso de sustancias químicas para el nivel mínimo al que los experimentos pueden llevarse a cabo de manera efectiva se conoce como *Química a microescala*.

Desde la década de 1990, se ha visto un creciente interés sobre cómo la Química experimental puede realizarse en una escala mucho menor que la practicada tradicionalmente, utilizando equipo mucho más simple (frascos viales, frascos gotero, jeringas, placas de pozos, pipetas Beral, entre otros implementos) y, por lo tanto, más barato que el material tradicional de vidrio utilizado en un laboratorio. Puede considerarse como una técnica alternativa al trabajo experimental que se basa en el respeto al medio ambiente, está enfocada en la reducción de fuentes de contaminación, la sustitución de materiales y la disminución a la exposición de contaminantes, con la significativa reducción de reactivos y, por consiguiente, de desechos. (Nieto *et al.*, 2004).

Pero, ¿en qué consiste? A nivel de producción es un método de prevención de la contaminación del medio ambiente, asegurando la realización de procesos químicos utilizando pequeñas cantidades de productos químicos sin comprometer la calidad y el nivel de aplicaciones químicas en la educación y la industria. Vista así, la microescala se manifiesta tanto como una alternativa de trabajo en el laboratorio como una perspectiva diferente a las prácticas tradicionales en química.

Sus propósitos son:

- Propiciar la utilización racional de los recursos
- Hacer conciencia sobre la contaminación y conservación del medio ambiente
- Desarrollar habilidades para trabajar en el laboratorio con mayor precisión
- Reducir el nivel de riesgo en el uso de sustancias tóxicas
- Minimizar el número de accidentes
- Reducir la cantidad de desechos
- Fomentar la creatividad e inventiva en el diseño de materiales de laboratorio
- Tomar conciencia de la importancia del escalamiento de los experimentos, en macro y microescala

Conviene aclarar que la microescala no sólo es una técnica con las ventajas ya descritas, sino que es ampliamente utilizada en el campo profesional, por ejemplo, en el uso de microelectrodos selectivos en técnicas espectrofotométricas y polarográficas, técnicas analíticas, pruebas piloto de químicos especiales, en la investigación y desarrollo de producción en plantas piloto.

A pesar de que se trabaja con cantidades muy pequeñas, esto no compromete los estándares en educación ni el rigor analítico. Es una técnica que utiliza menores cantidades de reactivos, comparada con las técnicas de macroescala en que se utilizan de: 10-50 g de reactivos sólidos y de 100-500 mL de reactivos líquidos, que comparados con los de la microescala: 25-100 mg de reactivos sólidos y de 100-2000 μ L de reactivos líquidos, representan una notoria ventaja de estas últimas en los aspectos mencionados: “Hacer más con menos”.¹⁷

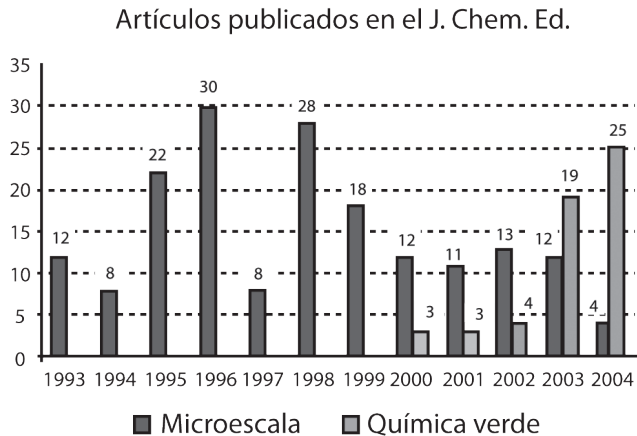
Al trabajar en microescala se propicia un cambio cultural en la forma tradicional de las prácticas de laboratorio, en cómo se utilizan las sustancias, fomenta además la creatividad e inventiva en el diseño de materiales de laboratorio, promueve la observación cuidadosa de los alumnos, reduce el nivel de riesgo en el manejo de sustancias tóxicas, minimiza el número de accidentes, disminuye la cantidad de desechos generados durante las prácticas.

Con respecto a la pedagogía en el laboratorio que involucra la microescala, favorece el uso de reactivos alternos, nuevos atajos en las reacciones y el uso de solventes alternativos, produciéndose menos productos contaminantes. El principio de las 3 Rs (Reduce, Recicla y Reutiliza) es parte integral de la Química en microescala. Su aplicación en la enseñanza ocurrió por primera vez en los cursos de Química Orgánica, ya que éstos fueron los primeros en que se hizo consciente la necesidad de controlar los residuos peligrosos (Pike, 1986). Otra ventaja es que se pueden percibir los experimentos con la misma nitidez y precisión que en macroescala, pero utilizando cantidades más pequeñas de reactivos, razón por la cual muchos profesores la adoptaron en otras áreas de la enseñanza de la Química.

¹⁷ **Nota de los Coordinadores.** La evaluación también plantea una forma diferente de realizar y analizar los experimentos, promueve una mayor reflexión y el uso de instrumentos de evaluación como mapas conceptuales y V de Gowin, además de concientizar los riesgos al medio ambiente.

Actualmente, una visión holística incorpora la Química Verde al currículo escolar, (Kirchhoff, 2001). El interés en los materiales educativos está creciendo y ya se están desarrollando para este fin. Un ejemplo son los experimentos “verdes” que se están llevando a cabo en los laboratorios, al utilizar agua en lugar de solventes orgánicos. Un químico entrenado en esta metodología tendrá un impacto significativo en la solución de los problemas relacionados con el medio ambiente (Montagut *et al.*, 2006).

La **Gráfica 1** muestra el aumento de las publicaciones relacionadas con Química Verde, con respecto a la microescala, a partir del año 2000.



Gráfica 1. Incremento en las publicaciones en Química Verde, comparadas con microescala.

En México, en años recientes, el número de experimentos que se realizan a nivel microescala ha crecido enormemente. Docentes de secundaria, bachillerato y licenciatura están incorporando la microescala a sus prácticas de laboratorio.

Un aspecto importante por señalar es que la Química en microescala no es forzosa para cualquier experiencia en laboratorio, puesto que en macroescala hay muchos experimentos ilustrativos y espectaculares con objetivos que no se cubren con microescala.

Antecedentes

A continuación presentaremos los antecedentes históricos de la microescala, su implementación en la UNAM tanto en el bachillerato como en la Facultad de Química.

La Química en microescala y sus técnicas han sido empleadas en muchos países durante varias décadas. Friedrich Emich (1860 –1940), reconocido como el fundador de la microescala, en 1911 publicó su libro de texto de microquímica titulado *Lehrbuch der Mikrochemie*. Su trabajo se centró en microquímica y, junto con su colega Fritz Pregl, perfeccionaron el trabajo del análisis en pequeña escala. Más tarde, Pregl fue galardonado con el Premio *Nobel* de Química 1923, por su trabajo en microanálisis de sustancias orgánicas.

La enseñanza de la microescala comenzó después de la Segunda Guerra Mundial (1945), en algunas universidades de Estados Unidos, para realizar análisis y síntesis. El auge de la microescala ocurrió en la década de 1980, en el área de Química Orgánica, durante lo que se conoce como la *Quinta Revolución Química*.

El contexto social de esa época influyó: aparecen movimientos ecologistas, en los años 70, se publicaron libros como *Silent Spring* que impactaron de manera importante a la sociedad norteamericana. Son tiempos en que se presentan decisiones gubernamentales como la regulación de la calidad del agua (1974), la reducción de sustancias peligrosas y la eliminación de residuos tóxicos producidos por las industrias (1976).

La adaptación e incorporación de técnicas como la microescala fueron muy importantes, sobre todo porque se produjeron en el momento preciso en que la educación daba una respuesta con la renovación de los laboratorios de Química Orgánica ahora obsoletos, frente a la nueva reglamentación.

Tanto Samuel Butcher y Ronald Pike, autores del libro *Microscale Organic Laboratory*, dudaron acerca del límite inferior en que los alumnos podían trabajar con cantidades del orden de 50 a 200 mg, sin necesidad de un material muy “sofisticado”. Surgieron entonces en 1982 los primeros materiales y técnicas diseñadas por grupos de trabajo en universidades.

Tabla 1. Primeros libros importantes en microescala.

<i>Análisis cualitativo mediante reacciones a la gota</i> , 3ª Ed.	Feigl, F.
<i>Microscale Organic Laboratory</i>	Butcher, S. and Pike, R.
<i>Silent Spring</i>	Carson, R.

Desde 1989, los profesores Ronald Pike, Zvi Szafran y Mono M. Singh comenzaron a trabajar en microescala. En 1992, crearon el National Microscale Chemistry Center, en Merrimack College, Massachusetts, con el propósito de impartir cursos de Química en microescala a profesores nacionales y extranjeros, de todos los niveles educativos para aprender a reducir la cantidad de reactivos químicos, mejorar la calidad del ambiente, disminuir la exposición a reactivos químicos, reciclar y disminuir los residuos generados, tratarlos en el lugar donde se generan y pensar en un futuro sustentable para las nuevas generaciones.

Antecedentes en la UNAM

En 1959, en la Facultad de Química de la UNAM, el Dr. Humberto Estrada utilizó por primera vez el equipo Quickfit en las prácticas del laboratorio, con lo que redujo notablemente la masa del sólido y el volumen del líquido, incorporó así la microescala al laboratorio de Química Orgánica.

Siendo rector de la UNAM el Dr. Ignacio Chávez (1961-1966), se aplicó por primera vez un examen de admisión a alumnos de primer ingreso, generando protestas por parte de los rechazados. En ese periodo se completó la ocupación de la Ciudad Universitaria con el traslado en 1962 de la Escuela de Ciencias Químicas, ahora Facultad de Química (desde 1965).

La Escuela Nacional Preparatoria (ENP) fue objeto de particular atención al ser concebida como la plataforma para despegar la reforma profesional; se introdujo el Plan de Tres Años, con el que se agregó un año más al ciclo regular, dividiéndolo en áreas para una formación específica (Compendio de Legislación Universitaria 1910 – 2001).

El maestro Héctor Murillo, Jefe del Departamento de Química de la ENP, aprovechó la fama del Dr. Hubert Alyea (profesor de la Universidad de Princeton), pionero y destacado colaborador de la experimentación en pequeña escala, y lo invitó a capacitar a profesores de la ENP, durante 1964 y 1965, el curso *Didáctica de la Química*.

Una de las contribuciones del Dr. Alyea fue un ingenioso aparato retroproyector diseñado y construido por él, con el que proyectaba en una pantalla imágenes de reacciones micro, las cuales mostraban el colorido de las reacciones químicas.

Además, fue interesante conocer que un gran número de las demostraciones de Química, los libros que escribió han servido como referencia a muchos profesores de esta ciencia. En sus obras se advierte la idea de la importancia de las demostraciones en el aula, entre ellas están: *Tops in General Chemistry*, *Armchair Chemistry*, *Microchemistry projected*, *Tested Demonstrations in Chemistry*.

Un discípulo del Dr. Alyea, el Q. Guillermo Barraza Ortega¹⁸, profesor de la Facultad de Química, fue un gran promotor y generador de los experimentos de cátedra. Seguía la misma técnica, llevaba a cabo una reacción micro y la proyectaba en una pantalla.

La ENP adoptó este sistema de retroproyección como una herramienta de enseñanza. Cada plantel tenía material para presentar los experimentos contenidos en los libros *Tested Overhead Projection Series (TOPS)*, *TOPS in Chemistry* y *Tested Demonstrations in Chemistry*, y otros.

Durante 4 o 5 años se trabajó con un tipo de retroproyector y, atendiendo al elevado costo de las lámparas de repuesto de este aparato, a su mantenimiento y dificultad de conseguir refacciones, dejó de usarse.

¹⁸ **Nota de los Coordinadores.** El profesor Guillermo Barraza en la década de los 70 fue el promotor principal de las Experiencias de Cátedra, llevaba a sus clases el equipo necesario para realizar frente a los alumnos un sinnúmero de experimentos de Química Inorgánica.

En esa época la asignatura obligatoria para todas las carreras de Físicoquímica I consideraba sesiones especiales de experiencias de cátedra sobre el tema de estructura de la materia, lo cual lamentablemente ha sido olvidado. En la actualidad, algunos profesores, de manera aislada, continúan con esta tradición.

“El gusto por la experimentación lo llevó a ser considerado –por su técnica y creatividad para impartir una clase– uno de los mejores profesores dentro de los seminarios que organizaba el profesor Hubert Alyea, de la Universidad de Princeton, EU”. (*Gaceta de la Facultad de Química*. VII época, número 56, octubre 2009).

En 1971, el Dr. Hubert Alyea regresó a la Facultad de Química para impartir el curso *Armchair Chemistry*, en donde presentó un equipo para el alumno, diseñado especialmente para este curso. Sus demostraciones lograron impactar de tal forma que despertaron la inquietud a la microescala.

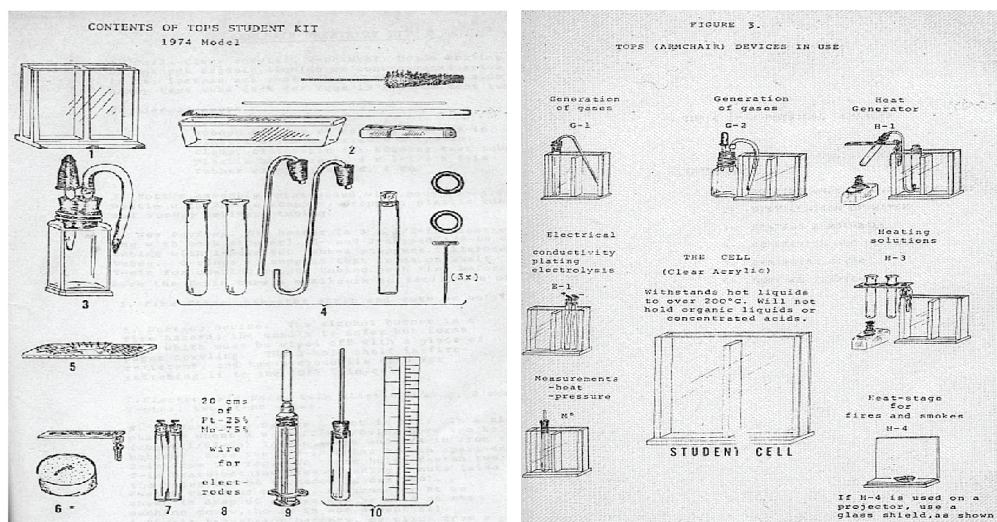


Figura 1. Ilustraciones del equipo utilizado por el Dr. Alyea con el cual se desarrollaron aproximadamente 60 experimentos.

Este primer intento sirvió para diseñar un equipo que se utilizaría para el programa de apoyo a materias de alto índice de reprobación, en donde el alumno en forma individual pudiera realizar en el hogar experimentos sencillos con el enfoque en microescala con sustancias y material fácil de conseguir y de bajo costo. No hubo oportunidad de presentar formalmente este proyecto y quedó en receso. Básicamente, este equipo estaba formado por tres frascos viales, una gradilla, seis tubos de ensayo, una celda de plástico, conector para batería con caimanes, tapones y pipetas de plástico.

En agosto de 1993, durante la Reunión de Evaluación de los Programas de Estudio, se presentó la ponencia *Una Propuesta al Laboratorio de Química*. En este trabajo se mostró el equipo con algunos complementos: una lámpara de alcohol, un aparato para probar la conductividad, entre otros. El profesor Miguel García Guerrero ha ido mejorando y optimizando los materiales en cada curso que imparte,

actualmente integran un *kit* para sus experimentos. Cabe mencionar que el Q Miguel García Guerrero ha sido el pionero y principal promotor de la microescala durante muchos años. Fue maestro de varios de los que nos dedicamos ahora a la microescala.

En uno de los talleres que impartió en 1994, conoció a colegas de otras instituciones educativas, como la maestra Margarita del Valle y el Dr. Jorge Ibáñez Cornejo¹⁹, un gran impulsor a nivel internacional de esta técnica y actual coordinador del Centro Mexicano de Química Verde y Microescala de la Universidad Iberoamericana. A través del Dr. Ibáñez conoció al Dr. Mono Mohán Singh, director del National Microscale Chemistry Center (NMCC), en Merrimack College, Massachusetts. Durante su plática, el Dr. Singh comentó que el NMCC siempre está dispuesto a promover iniciativas orientadas a dar a conocer la microescala y lo invitó a tomar un curso en este centro de capacitación, para profesores junto con sus colaboradores, el Dr. Zvi Szafran y el Dr. Ronald Pike, calificado como uno de los padres de la Química en microescala moderna.

De igual forma, el profesor García Guerrero fue invitado al NMCC, quien como muchos otros profesores de diferentes instituciones han tomado cursos de microescala y ahora están entregados a la tarea de modificar y escalar sus prácticas tradicionales a un enfoque más acorde a los requerimientos del mundo en que estamos viviendo.

De manera similar, desde 1994, un grupo de profesoras de Química General en la Facultad de Química de la UNAM han puesto en práctica las ventajas de la microescala, tanto en la elaboración de manuales de prácticas, como en la impartición de cursos dirigidos a profesores de licenciatura y de bachillerato.

¹⁹ Junto con su equipo de trabajo de la U. Iberoamericana (30 docentes), han colaborado y participado impartiendo cursos, talleres, conferencias, en 397 Instituciones Académicas Nacionales y 233 extranjeras de 41 países de todo el mundo. Han elaborado 30 artículos en revistas arbitradas de nivel internacional y 6 libros (dos más en proceso).

El comienzo ocurrió en 1993, durante el congreso de la Sociedad Química de México, en Cancún, Quintana Roo, la profesora Rosa María González Muradás integrante de este grupo, participó en un taller que impartió el Dr. Zvi Szafran, y fue invitada a un curso de microescala en el NMCC²⁰.

En julio de 1994, González Muradás asistió al curso impartido por el Dr. Ronald M. Pike, el Dr. Mono M. Sing y el Dr. Zvi Zafran, al cual también participaron profesores de otras instituciones de educación superior, como la Universidad Autónoma de Nuevo León y la Universidad Iberoamericana, de esta última, fue el Dr. Ibáñez, quien realizaba entonces una estancia sabática en ese centro educativo.

En 1995, un grupo de profesoras se dio a la tarea de incorporar la microescala al programa de prácticas de la asignatura de Química General y con el apoyo del Dr. Andoni Garritz, Director de la Facultad de Química (1993-1997), se pudo editar el material. El grupo quedó conformado por Rosa María González, Pilar Montagut, Myrna Carrillo, Elizabeth Nieto, Carmen Sansón, Gisela Hernández, Rebeca Sandoval, quienes se dedicaron a investigar, diseñar, aplicar y difundir, mediante talleres, a profesores la enseñanza experimental de la Química en microescala. Su propósito fue buscar diferentes prácticas experimentales para diseñarlas y adaptarlas al programa de Química General y a los recursos de la Facultad.

Se buscó también a algún proveedor para adaptar el material adecuado a la microescala. Después de diseñar y probar los nuevos experimentos con alumnos, en 1995 se editó un primer manual de Microescala para el laboratorio de Química General.

En los años subsecuentes (1996 y 1997), integrantes del grupo tuvieron la oportunidad de asistir también a cursos en el NMCC, esto permitió consolidar una formación en el área de Química General a nivel bachillerato y licenciatura en las nuevas tendencias experimentales.

²⁰ El National Microscale Chemistry Center (NMCC) tiene como objetivo principal ofrecer cursos-taller, seminarios y publicaciones sobre el manejo y ventajas de convertir los laboratorios tradicionales de enseñanza experimental a nivel de microescala.

De esta manera, el equipo de trabajo se reestructuró y quedó integrado por: Rosa María González Muradás, Pilar Montagut Bosque, Carmen Sansón Ortega, Myrna Carrillo Chávez y Elizabeth Nieto Calleja. El grupo se dio a la tarea de seleccionar nuevos experimentos y esca- larlos a nivel microescala y, sobre todo, darles un enfoque didáctico actualizado a los nuevos paradigmas de la enseñanza de la Química experimental; dado que la enseñanza experimental ha tenido un en- foque tradicional, esto es, las actividades experimentales estaban diri- gidas sólo a reproducir algún fenómeno específico, o bien, a efectuar mediciones definidas, a obtener y analizar información o a procesar e interpretar datos.

Visto así, las prácticas de laboratorio se centran en la realización de actividades experimentales como la única vía de familiarizar a los estudiantes con la metodología del trabajo científico. Esta visión defor- mada de las “prácticas de laboratorio” (Gil *et al.*, 1991, Séré *et al.*, 2001; Del Carmen, L. 2000) que prevalece actualmente en muchos centros de enseñanza de nuestro país y de otros en el mundo, ha llevado a buscar propuestas innovadoras susceptibles de proporcionar una imagen más coherente con el trabajo científico y a recuperar el papel motivador que dicha actividad tiene para los alumnos.

Tomando en cuenta lo anterior, las prácticas nuevas de laborato- rio diseñadas por el grupo antes mencionado, incorporaron además de la microescala, un enfoque didáctico novedoso para darle un sentido más amplio al trabajo experimental (Hodson, 1992 y 1994), se eligie- ron actividades que no sólo sean llamativas para el alumno, sino que éstas se orienten más a la reflexión, que favorezcan un mejor desarrollo conceptual con el fin de lograr que el trabajo en el laboratorio sea una actividad cautivante, motivadora y pueda ayudar a lograr los objetivos de aprendizaje propuestos.

Sin embargo, no siempre las propuestas diferentes en la enseñan- za han tenido un reflejo inmediato, éste fue el caso para la microescala, pues en ese momento (1996) en el contexto de la Facultad imperaba el proyecto de la Reforma de la Enseñanza Experimental, mediante el cual muchos grupos de docentes contaron con el apoyo económico para equipar sus laboratorios con material y reactivos, siempre que se ajustaran a los lineamientos del formato de los guiones experimentales

propuestos de acuerdo con la metodología que lo fundamenta (aprendizaje por descubrimiento, Hodson, 1994).

Al no estar de acuerdo con esta forma de concebir la experimentación, la metodología desarrollada en el manual de microescala quedó fuera del proyecto de la Reforma de la Enseñanza Experimental. Como alternativa se buscó apoyo a través de un proyecto PAPIME²¹ (D0101198) titulado: “*Aprendizaje Significativo a través de la Enseñanza Experimental en Microescala*” que duró de 1998 a 2000 y se publicó en 2001 como *Manual para Química General*.

En 2002, la editorial Pearson Educación se interesó en el proyecto de microescala, y solicitó la elaboración de un manual que comprendiera todo el curso de Química General para el laboratorio, en microescala, mismo que se publicó en 2002 (este manual se sigue utilizando en países europeos, en Centroamérica y Sudamérica).

En el mismo año, se firmó un Proyecto Interinstitucional con el Colegio de Ciencias y Humanidades y Facultad de Química, con el compromiso de divulgar la enseñanza en microescala en los planteles del Colegio, mediante cursos y talleres a los profesores y además con el compromiso de elaborar manuales de enseñanza experimental en Microescala para las cuatro asignaturas de Química que se imparten en los planteles del CCH. Fue un proyecto que duró de 2002 a 2005, que permitió divulgar e implementar esta metodología de enseñanza en todos los planteles, en los cursos de Química I, II, III y IV.

Dentro de este proyecto interinstitucional se diseñó el Diplomado *Hacia una Química Sustentable, La enseñanza Experimental en Microescala* el cual iba dirigido a los profesores del CCH, tomando en consideración la filosofía, tipo de enseñanza y características del programa de estudios de dicha institución.

Años más tarde, de 2003 a 2005, y a la luz de los cambios en los planes y programas de estudio, se realizó otro proyecto PAPIME (EN115703) titulado: *Diseño, elaboración e implementación de la*

²¹ Siglas del Programa de Apoyo para Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza.

enseñanza experimental en Gral. I y Q Gral. II. En los nuevos planes de estudio de la Facultad de Química. Como producto se editaron dos manuales de prácticas, tomando en cuenta las siguientes premisas:

- a) Cambiar la enseñanza experimental tradicional por una propuesta diferente, que facilite un aprendizaje significativo que propicie en los alumnos el interés real y profundo por la ciencia, a través de su propio conocimiento.
- b) Propiciar el uso de la técnica de microescala, tendencia mundial en el campo de la Química (Química Verde), que reduce considerablemente el costo *per cápita* de materiales y reactivos, el espacio requerido para su almacenaje, la cantidad de residuos generados y la inversión en el tratamiento de los mismos.
- c) Favorecer que estos cambios trasciendan: en el aprendizaje de nuestros alumnos y en la enseñanza de nuestros pares, de manera que contribuyan a fortalecer un mejoramiento de las actividades docentes e incrementen la calidad de la formación escolar que ofrece la Facultad, en el marco del inicio de los nuevos planes de estudio que iniciaron en 2006.

Se diseñaron experimentos nuevos al hacer las modificaciones pertinentes para convertirlos en trabajos prácticos “verdes”,²² con una mejor calidad a la que presentan los manuales de prácticas tradicionales. Se pretende concientizar al estudiante en la necesidad del ahorro de recursos, fomentar su creatividad, autosuficiencia e inventiva al promover el diseño y construcción de sus propios materiales de laboratorio.

Aunque con el empleo de las técnicas de microescala, las cantidades de residuos químicos generadas por el trabajo experimental son considerablemente pequeños, el tratamiento de los mismos debe ser un hábito formativo para los estudiantes de primer ingreso.

²² Experimentos relacionados a una Química sostenible, con una filosofía química en el diseño de productos y los procesos que reducen o eliminan el uso y la generación de sustancias peligrosas.

En este contexto, los manuales de Química General I y Química General II integran diferentes tipos de trabajos prácticos (Caamaño, 2002 y 2004), aplicándose por primera vez para la generación con alumnos que iniciaron sus estudios en 2006.

A pesar de que en la Facultad de Química existe un número mayor de profesores que han incorporado a su práctica docente la técnica de microescala y Química Verde en asignaturas como Química General I y II, Química Inorgánica, Química Analítica y Química Orgánica, todavía faltan la mayoría de los docentes, lo que implica un gasto excesivo e innecesario de recursos y de reactivos. Como consecuencia hay poco o casi nulo control en el tratamiento de residuos que se genera.

Es deseable que esto pueda corregirse y que la microescala con la Química Verde sean las alternativas de los tiempos presentes, como ha sucedido en otras instituciones educativas, que lo han adoptado como modelo para una Química sustentable.

Es evidente que falta convencer no sólo a un mayor número de profesores, sino también a las autoridades de nuestra Facultad para que, mediante un apoyo institucional, se integren los principios de una Química Verde en el diseño de las prácticas de laboratorio con beneficios económicos y ambientales.

Sería también deseable que además de un cambio en la metodología experimental, ésta estuviera acompañada por un cambio en la forma de abordar la enseñanza experimental a nivel universitario. Entre los aspectos por mejorar están: aumentar la eficiencia de las prácticas para que puedan aprovecharse al máximo, ésta aumenta si las prácticas tradicionales se reorientan hacia la búsqueda de soluciones a pequeñas investigaciones; alto nivel de indagación, cambiar las actividades de descubrimiento de hechos, conceptos y leyes mediante el uso de los procesos de la ciencia en investigaciones guiadas por el profesor.

La siguiente tabla muestra los manuales elaborados por grupos de trabajo en microescala.

<i>Microescala. Química General. Manual de laboratorio</i>	Myrna Carrillo, Rosa Ma. González, Gisela Hernández, Pilar Montagut, Elizabeth Nieto, Rebeca Sandoval, Carmen Sansón
<i>Enseñanza Experimental en el bachillerato. Química Verde. Química I, Química II Química III y Química IV Material en CD</i>	Francisca Navarro, Myrna Carrillo, Rosa Ma. González, Pilar Montagut, Elizabeth Nieto, Carmen Sansón
<i>Microescala I. Laboratorio</i>	Myrna Carrillo, Rosa Ma. González, Pilar Montagut, Elizabeth Nieto, Carmen Sansón
<i>Manual de Prácticas Química General I. Microescala</i>	
<i>Manual de Prácticas Química General II. Microescala</i>	

Conclusiones

Actualmente la microescala es aceptada por una comunidad mayor de docentes e instituciones, pero tiene retos que afrontar en su implementación: costo, esfuerzo, tiempo e iniciativa. Conviene resaltar el trabajo que han realizado muchos profesores de la UNAM al desarrollar una variedad de experimentos desde elementales hasta avanzados, para escalarlos adecuadamente y ser transformados en microescala.

Por otro lado es deseable que todos los alumnos puedan realizar sus propios experimentos, una forma de lograrlo sería utilizando material de bajo costo, limpio y seguro, fácil y confiable. Muchos de estos requerimientos pueden ser alcanzados con el trabajo en microescala.

Estas ventajas atraen a los profesores de todos los niveles y podría convencer a los docentes que trabajan en circunstancias con escasos recursos, que la microescala es una práctica alternativa acorde a sus limitaciones, donde no se tenga el equipo suficiente y/o se cuente con bajo presupuesto para el trabajo experimental.

La mayoría de los colegas que consideraban poco seria la preparación de pequeñas cantidades de reactivos, y trabajar con material de menor tamaño al convencional, han cambiado y ven a la microescala con más seriedad.

Los beneficios de disminuir la escala son tantos, que un curso de Química impartido a estudiantes puede ser una experiencia amplia y directa, mientras se mejora la seguridad y se reduce la cantidad de desechos generados en el proceso.

COMENTARIO

ALEJANDRO BAEZA REYES

*La investigación
básica, la enseñanza
experimental
básica y la práctica
profesional*

A finales del siglo XIX y a principios del siglo XX, los descubrimientos de la experimentación básica en Física y Química se incorporaban de manera natural a la docencia. Los sistemas químicos estudiados eran relativamente sencillos y conectados con problemáticas industriales, de salud o comerciales.

El desarrollo de la Química experimental y, por ende, su enseñanza están relacionadas directamente con los avances de la instrumentación requerida en síntesis y en análisis químicos. Al iniciar el siglo XX, la instrumentación, material de vidrio, balanzas, estufas, entre otros, se encontraban aún en una etapa clásica que obligaba a experimentar con cantidades grandes de materiales (gramos, litros). Los métodos de análisis y de síntesis pronto se consolidaron para responder a las demandas de síntesis de productos de consumo y su consiguiente control analítico para satisfacer las necesidades de una sociedad caracterizada por una vigorosa industrialización y producción masiva de insumos.

Gracias a la madurez epistemológica de la Fisicoquímica en general y de la Termodinámica de las Disoluciones Acuosas, los modelos de Estructura de la Materia y de la Electroquímica en esta etapa, es que la enseñanza experimental a nivel de macroescala se consolidó en la UNAM y en la mayoría de las universidades de nuestro país. La enseñanza de las técnicas a macroescala del *Análisis Cualitativo y Cuantitativo* de analitos de interés comercial se estableció de manera sistemática y muy institucional. Las reacciones clásicas de grupos funcionales orgánicos y sus productos de síntesis a macroescala también se institucionalizaron en la práctica docente en la UNAM y en las universidades mexicanas.

La primera mitad del siglo

En los últimos años de la primera mitad del siglo XX y alrededor del Proyecto Manhattan, la utilización de equipo electrónico de medición y cálculo potencializó el desarrollo de la instrumentación química, para la resolución de problemas químicos cada vez más complejos. A modo de ejemplo, se menciona que en 1936 salió al mercado el primer pH-metro comercial y, en 1952, el primer fotocolorímetro en el rango visible. Estos avances lograron impactar en la enseñanza experimental. La simplicidad relativa de la instrumentación hizo accesible su adquisición comercial de aparatos e instrumentos de medición para la enseñanza en licenciatura. Sin embargo, son equipos de construcción robusta, grandes, a base de “bulbos”, que requerían manejo de muestras a nivel de macroescala.

En la Facultad de Química de la UNAM y en las demás instituciones de educación superior se consolidó la enseñanza experimental con los cursos típicos de *Análisis Cualitativo*, *Análisis Cuantitativo* y *Análisis Instrumental* con metodologías diseñadas para el empleo de técnicas a macroescala. Toda vez que la caracterización y purificación de productos de síntesis requieren también técnicas a macroescala, predomina en la práctica experimental de la Química sintética orgánica e inorgánica los métodos a escala a nivel de gramos y litros.

Esta forma curricular de la enseñanza a macroescala determinó de manera muy profunda la enseñanza experimental, durante varias décadas en nuestras instituciones de educación superior. De hecho, la inercia institucional mantiene aún, en algunas universidades e institutos, dicho esquema en el cual predomina la enseñanza a nivel de macroescala. En esta época la enseñanza experimental estaba fuertemente relacionada con las técnicas y normas oficiales empleadas en la vida profesional, toda vez que la instrumentación en estos ámbitos de trabajo eran similares. Este binomio se encuentra vigente en gran medida en el sector productivo y de servicios en países como el nuestro, ya que la dificultad de cambio en los medios de producción y de control de calidad en la Química profesional no promueven de manera expedita cambios tecnológicos derivados de los avances a nivel de la generación de conocimientos en la investigación básica y aplicada en las universidades e institutos que cambian a mayor velocidad y en diversas direcciones.

***La segunda mitad
del siglo XX:
comienza la
separación***

El desarrollo del transistor en los años cincuenta generó un crecimiento exponencial de la captura y procesamiento de datos con las computadoras u ordenadores, lo cual impactó en el rediseño y aplicaciones de la instrumentación analítica con la consiguiente elevación de costos y disminución en los tiempos de operación.

En esta época se sucedieron muchos cambios revolucionarios en los ámbitos sociales, políticos y económicos del mundo. En la Química hubo una tendencia a superar las rígidas áreas de especialización gremial del trabajo químico creadas bajo los paradigmas de la Revolución Industrial de finales del siglo XIX: la Química Orgánica, Inorgánica, Biológica, entre otras ramas. La revolución en las comunicaciones facilitó el intercambio de ideas y hubo una tendencia a una interacción intensa entre las diferentes especialidades de la Química. En la extinta Unión Soviética y en los Estados Unidos llegó a hablarse de la “Tercera Química”, refiriéndose a la investigación en la Química de Coordinación, moléculas de naturaleza orgánica-inorgánica con funcionalidad bioquímica.

En efecto, es en el campo de la investigación básica y aplicada que se aprovecharon los avances tanto electrónicos como de interacción interdisciplinaria. La instrumentación analítica se volvió más sofisticada, más sensible, selectiva y eficiente. Tales herramientas permitieron profundizar en el estudio de la estructura de la materia y de la reactividad química.

Las ciencias químicas, gracias a estos avances técnicos, permitieron poner de manifiesto el impacto de la actividad humana en el medio ambiente y en los recursos naturales y humanos. Destaca entonces la importancia de la Química Ambiental, de los nuevos materiales con la Química en Estado Sólido, las fuentes renovables de energía, etcétera. En todas estas áreas se manifestó la necesidad del *microescalamiento* y la *miniaturización* en el desarrollo de metodologías analíticas y sintéticas con nuevos materiales, lo cual ha llevado a la creación de campos multidisciplinarios de investigación hasta niveles inclusive *nanoatómicos*. Es por ello que la Química en Estado Sólido y la nanoquímica constituyen la Química del siglo XXI.

En este periodo se puso de manifiesto, no sólo en el ámbito académico, sino para la población mundial, la importancia de la Química en el monitoreo ambiental, en el diagnóstico y monitoreo de la salud, la importancia de la síntesis de nuevos compuestos en nanofármacos,

micropilas, microsensors en el tratamiento y la detección microlocalizada de enfermedades, microtubos de carbón como aditivos, entre otros. En la práctica profesional actual de la Química es común contar con espectrofotómetros miniaturizados que realizan un análisis espectral con 1 microlitro de muestra en décimas de segundo; la electroforesis capilar permitió acelerar el proceso de la secuenciación del genoma humano (existen sistemas analizadores electroquímicos del tamaño de una cajetilla de cigarrillos que se comunican inalámbricamente en línea a distancia, cromatógrafos de líquidos más pequeños que una caja de zapatos para análisis de trazas de contaminantes de aguas, etc.); análisis de proteómica y genómica con mezclas de reacción de 1 a 2 microlitros en serie. La reactividad química para la síntesis de nuevas especies se puede realizar a nivel atómico con “tijeras de luz” y seguirlas “visualmente” con microscopios de efecto túnel en tiempo real. La investigación y sus aplicaciones tecnológicas en la práctica profesional química van de la mano a niveles de micro y nanoescala en los países de economía central, también llamados del primer mundo.

Sin embargo, la realidad es otra en el ámbito docente y, en particular, en la práctica de la enseñanza experimental a nivel bachillerato y de licenciatura en los países como el nuestro. En efecto, a partir de la década de 1970, las actividades humanas entraron a una dinámica global de mercado que incluye a la investigación científica y a la práctica profesional de la Química. Bajo este esquema las instituciones públicas de educación superior en los países periféricos como el nuestro quedan al margen.

Consecuentemente se consolidó (por no decir que se prolongó), la enseñanza experimental ortodoxa a nivel de macroescala en las áreas formativas: Química Analítica, Química Orgánica, Química Inorgánica, Físicoquímica y Química General con metodología e instrumentación típica de la década de 1960 y anteriores, toda vez que el equipamiento de los laboratorios con materiales y equipos miniaturizados modernos se encuentran disponibles en el mercado a un costo inaccesible para los presupuestos universitarios destinados a la docencia a niveles preuniversitarios y de licenciatura. La docencia a nivel de posgrado queda supevitada a la investigación básica dentro de una dinámica de consumo globalizado y por tanto se aleja de la enseñanza experimental a niveles básicos.

Es en los setentas que desde Estados Unidos y Europa se permeó la enseñanza a microescala a niveles básicos de la Química General, no así hacia las áreas formativas mencionadas anteriormente. En la Facultad de Química de la UNAM, se encontraron las condiciones naturales para la introducción de la Química a microescala, no sin una (también natural) oposición de los grupos docentes de las asignaturas de las áreas formativas instaladas en una ortodoxa dinámica en la que la macroescala convencional predomina.

***La atomización
dentro de la
grandeza en
la UNAM***

La UNAM es una institución educativa muy grande en términos de población en todos sus sectores. Por ejemplo, en una universidad pública del sur de la República Mexicana, entre 8 y 10 docentes están encargados *exclusivamente* de la enseñanza de las áreas básicas formativas de la Química Analítica, Química Orgánica, Química Inorgánica, Físicoquímica y Química General; en cambio, en la Facultad de Química de la UNAM solamente en el área de Química Analítica hay cerca de 50 profesores que participan en el primer curso de Química Analítica I, y a su vez, en la asignatura de Química Inorgánica I hay un aproximado de 70 maestros involucrados. La formación académica y la concepción docente entre el claustro de profesores es muy diversa: unos están muy vinculados con la investigación básica de posgrado, otros fueron formados bajo una visión ligada a la práctica profesional, o con una visión pedagógica formal, así como muchos son jóvenes, generalmente sin una preparación docente formal. Consecuentemente, cada perfil se refleja de manera diferente en la enseñanza experimental.

En un escenario tal, se comprende la formación de subgrupos académicos distintos dentro de cada departamento académico. En la Facultad se ha desarrollado un subgrupo muy consolidado dentro del área de Química General, cuyo proyecto académico formal es la enseñanza a microescala. En los demás departamentos académicos se encuentran aportaciones aisladas de la enseñanza experimental a microescala en los departamentos de Química Orgánica, Inorgánica, Analítica, Físicoquímica, Bioquímica, y otros.

Por lo antes expuesto, es fácil entender por qué se ha institucionalizado y consolidado el Centro Mexicano de Química a Microescala en la Universidad Iberoamericana (UIA) con un cuerpo docente más pequeño y más homogéneo en su visión docente de la Química.

Desafortunadamente, en la Facultad de Química de la UNAM los subgrupos de profesores interesados en las ventajas de la enseñanza de la Química a microescala no pertenecen a los subgrupos que institucionalmente toman las decisiones en las políticas educativas de los *currícula*, los cuales siguen diseñados, fundamentalmente, por la enseñanza experimental muy ligada a la dinámica de la investigación y a la práctica profesional ortodoxas, caracterizadas por la práctica experimental a niveles de macroescala.

Sólo muy recientemente se han empezado a formar grupos de investigación básica en la línea actual de la nanoquímica, la miniaturización y microescalamiento en Química Analítica, Sintética y Biotecnología. De la consolidación de estos grupos a su posible impacto en la enseñanza experimental en pregrado puede pasar mucho tiempo, si es que las condiciones institucionales y económicas, así como el desarrollo de un ambiente intelectual progresista lo permiten. Esta atomización de esfuerzos académicos no es exclusiva de la Facultad de Química de la UNAM. Es posible encontrar subgrupos que con participación con la UIA y la FQ dentro del área de Química General y Analítica en la FES Zaragoza, el subgrupo de Química Analítica a Microescala y del laboratorio de Fisicoquímica de la FES Cuautitlán.

En general, es posible ubicar dos contribuciones académicas sostenidas dentro de nuestra Facultad a la enseñanza de la Química a microescala, como alternativas complementarias a la enseñanza experimental actual y que han aportado experiencias a la comunidad química docente dentro y fuera del país: el subgrupo de profesores del departamento de Química General y el laboratorio de Química Analítica a Microescala Total.

Química Analítica a Microescala Total

En 2000 se inició una nueva línea de investigación original en el laboratorio de Química Analítica de Investigación y Enseñanza Experimental con gran impacto en docencia e investigación aplicada: *Química Analítica a Microescala Total*. La originalidad y beneficios de esta nueva metodología ha sido adoptada por muchos colegas a su actividad docente, individual o institucionalmente, por medio de cursos nacionales y extranjeros al principio a través del Centro Mexicano de Química en Microescala y en programas de intercambio entre instituciones de educación superior. Se han generado diversas publicaciones docentes en revistas de educación y en la página electrónica de la Facultad de Química.

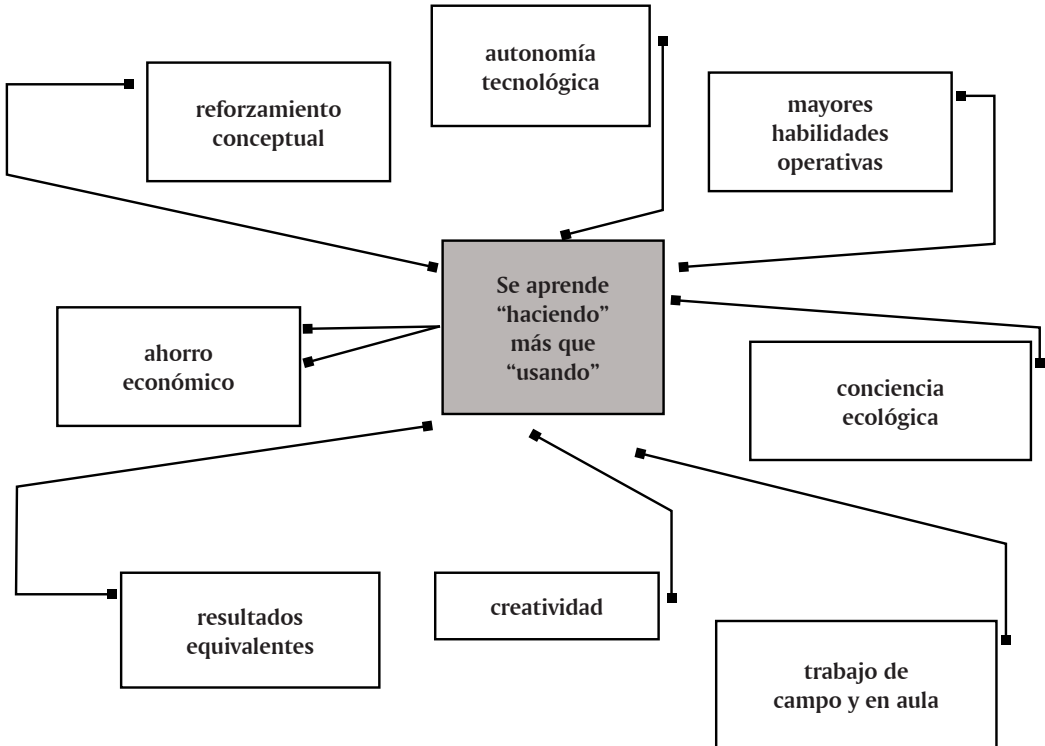
La experiencia adquirida se puede consultar en la página de la Facultad de Química de la UNAM (<http://depa.fquim.unam.mx/amyd>). Ésta ha servido de apoyo a estudiantes y profesores a la enseñanza dentro y fuera del país.

El trabajo con todos estos grupos de profesores y alumnos ha permitido la distribución de manuales de prácticas, presentaciones en Power Point, construcción de equipo para la enseñanza experimental y apoyo a la investigación en instituciones con bajos recursos económicos. Los cursos y talleres han contribuido a la consolidación de Cuerpos Académicos y, sobre todo, a establecer un flujo de experiencias, información, alumnos en trabajos de titulación y profesores en programas de actualización en la Zona Metropolitana, incluyendo la Facultad de Química, en más de 12 instituciones educativas públicas y privadas; en 15 universidades de la República Mexicana y en universidades de 10 países extranjeros:

La *Química Analítica a Microescala Total* está basada en la utilización de aparatos e instrumentos de medición diseñados y contruidos con materiales de fácil adquisición local: plástico, acrílico, pegamento, frascos pequeños, jeringas desechables, puntas de plástico desechables, minas de carbón, alambres cortos y delgados de cobre, acero inoxidable, plata, tungsteno para soldadura, algodón, resina epóxica, ventiladores de computadora, conexiones y circuitos usados en electricidad y electrónica, multímetros de bajo costo para medir voltaje, corriente y resistencia eléctrica, entre otros.

Con estos materiales es posible construir equipo de dosificación y medición instrumental para obtener información química por medio de las operaciones de calibración adecuadas, con una *precisión* asociada aceptable si se opera observando las buenas prácticas de laboratorio.

Desde el punto de vista docente, la enseñanza de la Química Analítica a Microescala Total con equipo producido con materiales locales de bajo costo, conlleva las siguientes ventajas formativas:



3.5

SEGURIDAD Y
RESIDUOS

ELVIRA SANTOS
SANTOS,
IRMA CRUZ
GAVILÁN GARCÍA Y
EVA LEJARAZO
GÓMEZ

En México, la regulación ambiental de los residuos peligrosos tuvo sus inicios en 1988 con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)²³ y de su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos, como parte del proceso de preparación para entrar al Tratado de Libre Comercio (TLC) de América del Norte. En este marco, se organizaron un gran número de mesas redondas y simposios para analizar la terrible problemática ambiental que enfrentaba nuestro país, así como la de nuestros socios comerciales (Estados Unidos y Canadá). En dichas mesas se invitó a participar a diferentes sectores tales como cámaras industriales, representantes del gobierno y de la academia, en las cuales la primera autora de este artículo tuvo el privilegio de participar. Cierto día, un destacado investigador le preguntó: “¿Cuál crees que es la mejor manera de resolver los problemas asociados al cuidado del ambiente?” Sin dudarle, respondió: “Educación”, pero en seguida surgieron un sin número de preguntas: ¿cuándo?, ¿cómo?, ¿dónde?, ¿a quién? Interrogantes difíciles de contestar.

En el orden de ideas de las preguntas anteriores, es indudable que las nuevas generaciones universitarias enfrentan un serio desafío. Ya que deben ser capaces de adaptarse, no sólo a cambios pequeños y limitados, sino a un proceso de transformación continua y acelerada, en todos los ámbitos del quehacer humano, del que ningún individuo ni sociedad alguna pueden sustraerse.

En resumidas cuentas, la Dra. Santos claramente percibió que las nuevas generaciones universitarias, especialmente los profesionales de la Química, deben estar preparadas para comprender que si la sociedad no es capaz de ofrecer un futuro promisorio para todos, se pueden romper los delicados equilibrios que se requieren para avanzar hacia un progreso sustentable.

A partir de la premisa anterior, las autoras de este artículo estamos convencidas de que, en este proceso de transformación, las universidades tienen un papel determinante, ya que deben formar los recursos humanos que la sociedad en la actualidad necesita, y a mediano plazo

²³ A la que precedieron la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental de 1971 y la Ley Federal de Protección al Ambiente de 1972.

contribuir con el desarrollo de nuevas habilidades en la práctica profesional, tales como la selección y análisis de información, el trabajo en equipo, la disposición al aprendizaje continuo, el manejo de idiomas, la asertividad, la creatividad e innovación para la solución de problemas, generar los conocimientos y la información necesarios para tomar decisiones y, sin duda, contribuir a preservar y enriquecer los valores sociales y culturales.

Siguiendo ese mismo orden de ideas, se piensa que la Universidad debe crear el paradigma del México moderno en todos los órdenes. El liderazgo académico se refiere tanto a los valores como al saber teórico, práctico y expresivo, los cuales se desarrollan mediante la innovación educativa, inquisitiva y cultural en las distintas disciplinas y campos del conocimiento.

Ante este nuevo “paradigma”, se planteó desarrollar un **programa educativo original**, lo cual fue un gran reto en lo que respecta a la enseñanza del cuidado del ambiente; ya que se deberían alcanzar los siguientes objetivos, que consideramos contribuirían a lograr el progreso sustentable.

1. El compromiso social de saber manejar adecuadamente los productos y los residuos peligrosos.
2. El liderazgo académico, que en esta área se estaba desarrollando en países de primer mundo, aún en las universidades y centros educativos²⁴.
3. La formación de egresados capaces de participar en la solución de problemas nacionales de importancia económica inherentes a su profesión, promoviendo los procesos limpios y la responsabilidad ambiental y social.

Alcanzando los objetivos anteriores, los egresados de la UNAM en general, y en particular los de la Facultad de Química, podrían responder a los retos del mañana en lo referente a los conceptos fundamentales

²⁴ National Association of College and University Business Officers (NACUBO), *Hazardous waste management at educational institutions*, 1997, USA.

involucrados en tecnologías limpias, cero emisiones, balance total de materia y energía, los cuales conllevan a un ambiente saludable para los seres vivos.

Los objetivos parecían sencillos y lógicos, pero lo fundamental para alcanzarlos fue desarrollar las estrategias adecuadas e implementarlas, por lo que los primeros retos a lograr fueron:

- a) La renovación de los procesos de enseñanza aprendizaje a través de una enseñanza experimental mediante trabajo multidisciplinario, que involucre el cuidado del ambiente, la seguridad de los alumnos, de los maestros y de la infraestructura física, preservando el contenido académico de cada área.
- b) Lograr la participación activa del personal docente bajo esta nueva filosofía de enseñanza aprendizaje.
- c) Proporcionar a los estudiantes conocimientos, habilidades, valores y principios para ser aceptados en su mercado de trabajo y contribuir al desarrollo de la sociedad.
- d) Estar conscientes de la responsabilidad que la sociedad del presente tiene con la sociedad del futuro, al estar obligados a heredarle un “ambiente limpio”, que permita el desarrollo de los futuros seres vivos con buena salud y el confort que proporciona el avance tecnológico alcanzado con objetivos integrales.

De lo anterior, se entiende mucho mejor **por qué** la base para resolver la problemática ambiental en nuestro país y en el mundo **es la educación**, proporcionada a todos los núcleos sociales, especialmente a los profesionales de la Química, para quienes este tipo de formación es primordial, por la naturaleza del trabajo que efectuamos.²⁵

PROBLEMÁTICA PRINCIPAL

La problemática más grave a la que nos enfrentamos fue la falta de infraestructura para el manejo de los residuos peligrosos acumulados en nuestros laboratorios, ya que hasta la fecha no se cuenta con

²⁵ **Nota de los Coordinadores.** Ver texto del Dr. Francisco Giral, páginas 18 y 19.

un lugar específico en el que se puedan llevar a cabo los tratamientos diseñados para los diferentes residuos. Además, en ese entonces, no se tenía el equipo mínimo (instrumental, equipo de vidrio, reactivos y equipo de protección para el manejo de residuos peligrosos), para identificar y analizar cada residuo.

UN EXTERNO DETONA EL MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LA UNAM

En el Departamento de Química Orgánica, desde 1987, se había iniciado un “Programa para la Enseñanza Integral del Cuidado del Ambiente en la Facultad de Química”, impulsado por la jefa del Departamento en aquel entonces, la Dra. Elvira Santos, quien convencida de que se podía crear una conciencia en los estudiantes desde los laboratorios de enseñanza, dispuso la separación de los residuos generados en todos los experimentos de cada curso impartido en el departamento, a pesar de la resistencia de algunos docentes, quienes consideraban que eso no era parte de la enseñanza de sus asignaturas, corriéndose la voz por toda la Facultad e incluso en los altos niveles de la UNAM²⁶.

Repentinamente, un representante del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) llegó a la UNAM para hacer una evaluación que le permitiría a esta Máxima Casa de Estudios obtener recursos económicos para equipamiento e infraestructura, a través del denominado programa UNAM-BID. Dentro de su agenda, dicho representante debía verificar qué hacía la Universidad para el manejo de sus materiales y residuos peligrosos. Para nuestra sorpresa, sólo la Facultad de Química tenía un programa integral desarrollado para ello.

El evaluador del BID opinó que por la trascendencia del programa de manejo de residuos peligrosos de la Facultad de Química, se daría apoyo financiero para extenderlo, con las debidas adaptaciones, hacia todas las dependencias de la UNAM generadoras de residuos.

²⁶ Sobre el tema se puede consultar Catalá, Chamizo. *Enseñar seguridad es enseñar Química* (1993).

Paralelo a esto, por iniciativa del rector José Sarukhán, se creó un ambicioso proyecto denominado *Control Ecológico del Campus Universitario*, que incluía el programa de manejo de residuos peligrosos en todas las dependencias de la UNAM, considerando las que realizaban actividades docentes, de investigación y experimentación y de servicios.

EL PROGRAMA EDUCATIVO DE MANEJO ADECUADO DE RESIDUOS PELIGROSOS

Para implementar este programa se consideró pertinente que además de los conocimientos de Química, los estudiantes integraran conceptos tales como peligro, riesgo, toxicidad, planeación, organización, administración, responsabilidad integral y social, etcétera. Así establecimos hacia dónde queríamos llegar, es decir, nuestra Misión y Visión.

Nuestra Misión

Implementar una metodología de trabajo *ambientalmente segura* dentro de todos los laboratorios de enseñanza e investigación, en los niveles medio y superior de la Facultad de Química de la UNAM.

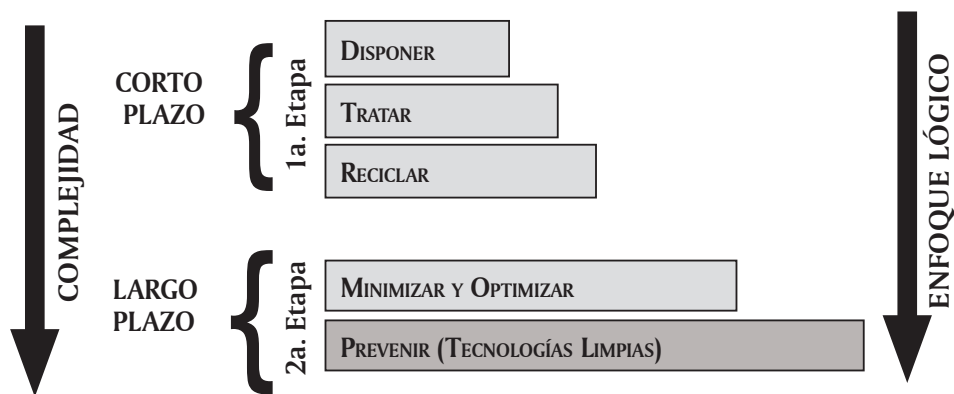
Nuestra Visión

Concientizar a los egresados de la UNAM sobre la responsabilidad social que implica el trabajo con productos peligrosos, para no dañar la salud de los seres vivos y el medio ambiente.

Estrategia

La estrategia se diseñó para eliminar los impactos ambientales que la Facultad de Química de la UNAM generaba, derivados de la actividad experimental de los laboratorios de docencia e investigación, en cuanto al manejo de productos y residuos peligrosos.

El siguiente esquema (**Figura 1**), muestra en forma resumida la estrategia planeada e implementada en diferentes grados de avance en los laboratorios de la Facultad de Química y de la UNAM.



Fuente: Elaborado por las autoras.

Figura 1. Estrategia para el Manejo Adecuado de Residuos Peligrosos.

Dicha estrategia se basa principalmente en la cultura de la prevención de la generación, la cual no es fácil alcanzar, aun habiendo impulsado la concienciación; la prevención como un trabajo arduo de día con día, que con el tiempo se transforma en buenos hábitos de trabajo.

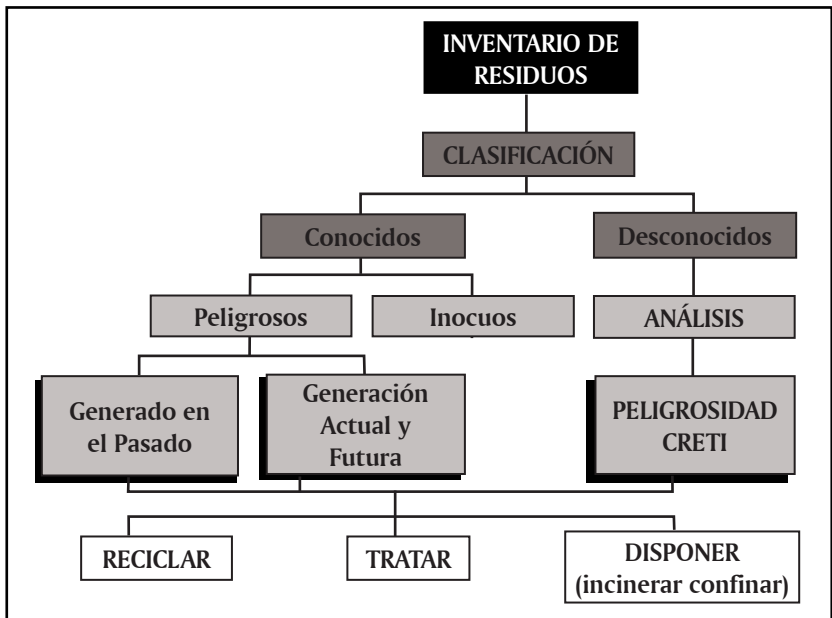
De forma paralela a la implementación de esta estrategia, en 1994, se realizaron ciertos trámites y actividades necesarias para llevar a cabo la operatividad de la metodología propuesta:

- Registro de la UNAM ante SEDESOL (autoridad en materia de control de la contaminación en aquel entonces) como generador de residuos peligrosos.
- Firma del convenio entre Ciba Geigy Mexicana y la UNAM para la incineración, sin costo, de una cantidad anual de residuos peligrosos especificada.

A continuación se describe la metodología a seguir, los pasos resumidos y un esquema descriptivo (**Figura 2**):

1. Inventario de los residuos peligrosos existentes.
2. Identificación de los experimentos que generan residuos y determinación del tipo, número, y volumen de cada uno de éstos.
3. Separación de los residuos peligrosos conocidos de los desconocidos y caracterización química.

4. Clasificación de los residuos en peligrosos y no peligrosos.
5. Diseño de tratamientos para los residuos identificados como peligrosos y elaboración de diagramas ecológicos para cada experimento.
6. Diseño de nuevos manuales para la enseñanza experimental en cada área académica y a los diferentes niveles.
7. Optimización de los procedimientos actuales (minimización de la generación de residuos) e incorporación de nuevos experimentos amigables con el ambiente, es decir, tecnologías limpias, cumpliendo con el nuevo enfoque de la industria en países desarrollados hacia la descarga cero.



Fuente: Elaboración de las autoras.

Figura 2. Clasificación de Residuos Peligrosos.

LOS RESIDUOS EN LOS LABORATORIOS DE ENSEÑANZA

La actividad práctica en los laboratorios de docencia, por lo general, se programa de manera sistemática por acuerdos colegiados y/o académicos, ya sea en periodos semestrales o anuales, de tal manera que los experimentos realizados han sido diseñados para que los estudiantes los realicen sin dificultad, por lo que se puede conocer con precisión la transformación química, física o biológica a desarrollar, así como la cantidad y tipo de residuos generados.

Al analizar la forma tradicional de la enseñanza experimental, se observó que en los manuales y en los libros de Química Orgánica experimental se incluye el procedimiento, a manera de uno o varios párrafos donde se dan las instrucciones y manipulaciones secuenciales, que conducirán de las materias primas hasta el producto deseado, a través de una cadena de varias operaciones unitarias.

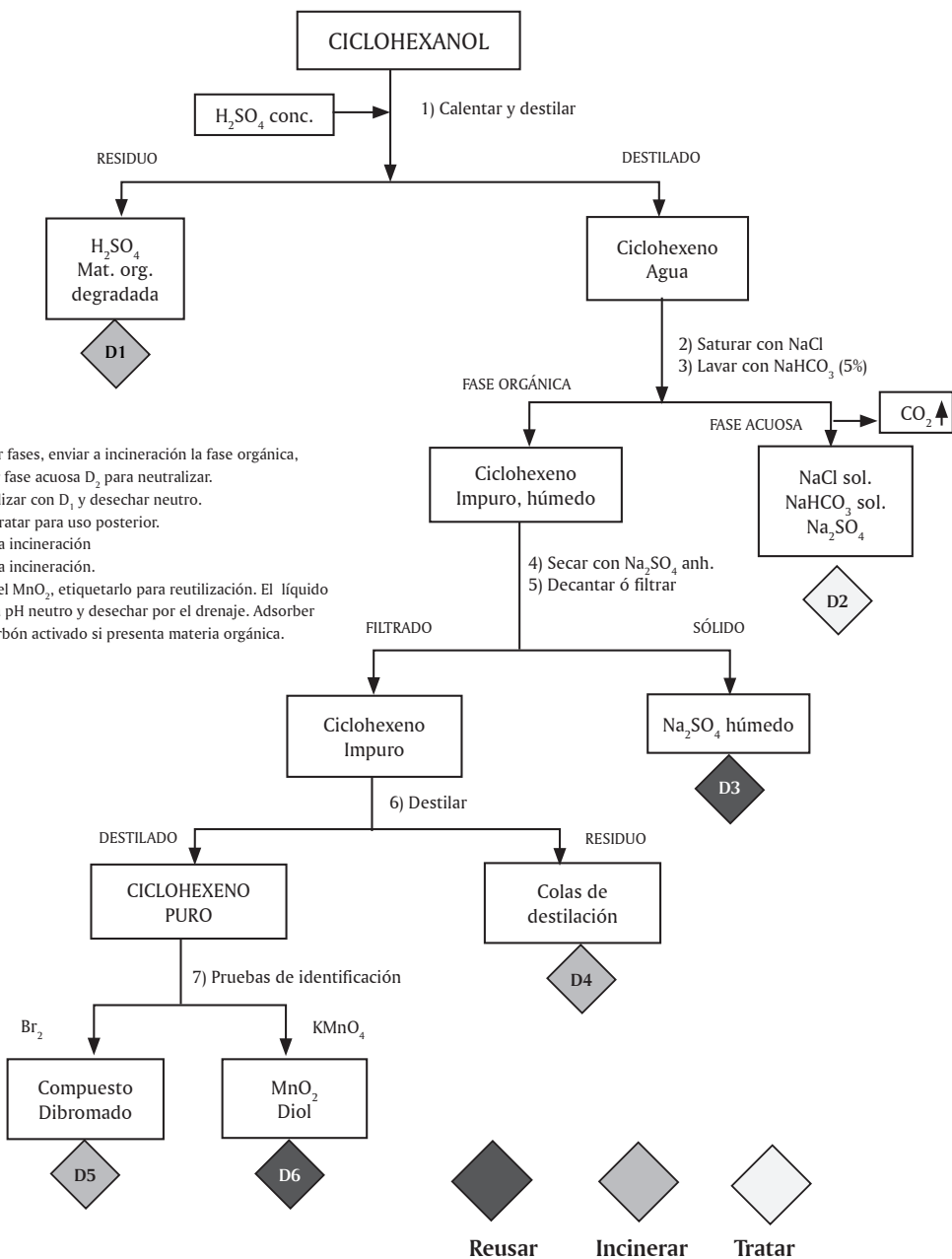
Al analizar el procedimiento nos dimos cuenta de que no es fácil distinguir en qué puntos se van generando los diferentes residuos y los subproductos, por lo que en primer lugar se introdujo un esquema (**diagrama ecológico**) como herramienta didáctica en el que se muestra, en forma clara y simplificada, cada uno de los pasos del procedimiento a seguir.

El diagrama tenía como objetivo facilitar a los estudiantes la identificación de los puntos de generación de cada residuo y su contenido, con esto se permitió proponer un tratamiento adecuado para lograr su disposición segura, implementándose así un sistema eficiente de gestión ambiental en los laboratorios de docencia.

**Obtención de
ciclohexeno****EJEMPLO DE LA APLICACIÓN DE UN DIAGRAMA ECOLÓGICO**

Procedimiento experimental: Monte un equipo de destilación fraccionada y en el matraz bola de una boca de 25 ml coloque 10 ml de ciclohexanol, agregue gota a gota y agitando 0.5 ml de ácido sulfúrico concentrado, agregue cuerpos de ebullición y adapte el resto del equipo. Caliente moderadamente, reciba todo lo que destile entre 90-95°C en un matraz Erlenmeyer de 50 ml, enfriando en un baño de hielo. Suspenda el calentamiento cuando quede un pequeño residuo en el matraz, o bien, cuando empiecen a aparecer vapores blancos de SO_3 . Sature el destilado con cloruro de sodio y decántelo en el embudo de separación, lávelo 3 veces con una solución de bicarbonato de sodio al 5%, empleando porciones de 5 ml cada vez. Reciba luego la fase orgánica en un vaso de precipitados, séquela con sulfato de sodio anhidro y decante. Esta fase debe ser ciclohexeno, que debe purificar por destilación simple. Colecte la fracción que destila a la temperatura de ebullición del ciclohexeno. La cabeza y la cola de la destilación pueden utilizarse para hacer las pruebas de insaturación, indicadas al final de este procedimiento.

DIAGRAMA ECOLÓGICO DE LA OBTENCIÓN DE CICLOHEXENO



Bajo esta metodología se lograron las siguientes metas:

1. Incorporar a los programas de enseñanza de la Química la nueva cultura del cuidado del medio ambiente, a través de la identificación, manejo y tratamiento de los residuos peligrosos generados en los experimentos, tendiendo sobre todo a la búsqueda de procesos limpios.
2. Escribir una serie de nuevos manuales en los que cada experimento contemple la separación y tratamiento adecuado de los residuos peligrosos generados.
3. Establecer de forma progresiva nuevas “prácticas limpias” que no generen residuos y que al mismo tiempo permiten alcanzar los objetivos académicos que persiguen las asignaturas de cada departamento de la Facultad de Química.

Con estas metas se pretende que nuestros egresados apliquen los conocimientos básicos adquiridos sobre el cuidado del ambiente, en las actividades involucradas en el ejercicio de su vida profesional; en la industria, el gobierno, la docencia o la investigación, y que además posean una nueva actitud hacia el cuidado y mejoramiento del ambiente.

BENEFICIOS DE NUESTRA ESTRATEGIA

Con este programa se logró implementar un nuevo modelo de enseñanza, que permite la integración de los conocimientos curriculares experimentales con el cuidado del ambiente, sin adicionar créditos (sin nuevos créditos), sin contratar nuevos profesores.

Se logró la superación del docente, en forma sencilla, quien al incorporar a su experiencia esta metodología, puede transmitir a sus estudiantes el manejo responsable de los productos y residuos peligrosos e impulsarlo a crear nuevos procesos, más eficientes y amigables con el ambiente, para transitar al futuro por un desarrollo sustentable que permita el crecimiento industrial moderno que requiere nuestro país.

Manteniendo como esencia del programa el “Formar profesionales de alta calidad, así como mantener la superación continua de los profesores, cumplir con la obligación que ahora tienen los programas

docentes de generar nuevos conocimientos y beneficiar a nuestra sociedad, en este caso cuidando el ambiente del presente y preservándolo para las futuras generaciones”.

PRODUCTOS LOGRADOS	
Producto	Descripción
Material Didáctico	<ul style="list-style-type: none"> ■ Manuales de prácticas (de nivel medio superior y superior). ■ Video <i>Control Ecológico del Campus</i>. ■ Folletos de difusión (en diferentes tópicos). ■ Libros (materiales peligrosos y seguridad).
Servicio Social	<ul style="list-style-type: none"> ■ Reconocimiento al SS de Honor, FQ 2006. ■ Reconocimiento al SS de Honor, FQ 1998. ■ 1er. Lugar Premio <i>Gustavo Baz Prada</i> 2011. ■ 1er. Lugar Premio <i>Gustavo Baz Prada</i> 1997. ■ 1er. Lugar Premio <i>Gustavo Baz Prada</i> 1994. ■ 2o. Lugar Premio <i>Gustavo Baz Prada</i> 1992.
Tesis	<ul style="list-style-type: none"> ■ 30 Tesis concluidas de Licenciatura.
Conferencias	<ul style="list-style-type: none"> ■ En distintos foros.
Cursos, Talleres y Diplomados	<ul style="list-style-type: none"> ■ 50 cursos dirigidos a: Académicos, estudiantes, industriales y dependencias gubernamentales.
Radio y Televisión	<ul style="list-style-type: none"> ■ Radio UNAM, Canal 11, Radio Red.
Congresos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Trabajos Internacionales. ■ Trabajos Nacionales.
Publicaciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ Artículos científicos y de divulgación.
Asesorías	<ul style="list-style-type: none"> ■ Internas: Dependencias de la UNAM. ■ Externas: INE, PROFEPA, Industrias, Universidades Privadas y Públicas.
Negociaciones y Vinculación	<ul style="list-style-type: none"> ■ Registro de FQ y UNAM ante el Instituto Nacional de Ecología. ■ Convenio CIBA-UNAM (incineración).
Proyectos Financiados	<ul style="list-style-type: none"> ■ Apoyo de organismos internacionales: Gobierno alemán (GTZ), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión para la Cooperación de América del Norte (CCA). ■ Apoyo del gobierno: SEP, INE-SEMARNAT, CONACyT, FIES (IMP-UNAM). ■ Apoyo institucional: Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA), Programa del Control Ecológico del Campus Universitario, Dirección General de Asuntos del Personal Académico (PAPIME y PAPIIT).

Con este programa, primero se logró modificar la actitud de los profesores hacia el ambiente, se incrementó el respeto y cuidado del mismo reforzando estos **nuevos valores**.

Al crear una nueva metodología, es muy importante lograr la difusión de la misma, para conseguir la aceptación de la misma por el personal académico y las autoridades. Posterior a la implementación de la metodología, debe seguir la evaluación permanente, para verificar el avance de las metas propuestas y, por lo tanto, alcanzar y medir los beneficios esperados y logrados.²⁷

²⁷ **Nota de los Coordinadores.** Para lo cual sería conveniente precisar cuál o cuáles de los instrumentos de evaluación discutidos en *Antecedentes* sería el más adecuado de usar, además de extender su aplicación en más laboratorios.

COMENTARIO**CRISTINA CORTINAS DE NAVA**

El documento elaborado por Elvira Santos Santos, Irma Cruz Gavilán García y Eva Lejarazo Gómez constituye una contribución significativa al desarrollo de una cultura orientada al manejo seguro y ambientalmente adecuado de los materiales y residuos peligrosos en las instituciones educativas del país.

Para poner en perspectiva lo antes señalado, conviene tener presente que en 1988, por primera vez en México, se reguló la generación y el manejo de los residuos peligrosos, lo cual detonó el desarrollo de capacidades –hasta ese entonces inexistentes– para identificar, clasificar, analizar, caracterizar, acopiar, almacenar, transportar, tratar (por medios químicos, físicos, o biológicos), reciclar o confinar los residuos que por su corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o capacidad biológico-infecciosa, son considerados como peligrosos.

Lo anterior significa que hasta ese entonces no había en el país una demanda de especialistas en el tema, ni de empresas prestadoras de servicios para el manejo de los residuos peligrosos, por lo que éstos se disponían en el drenaje o junto con la basura recolectada por los servicios municipales, con los consecuentes riesgos para la salud de la población y para los ecosistemas.

A partir de la legislación de 1988, a través de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), de su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos y de siete Normas Oficiales Mexicanas (NOM), sobre su clasificación, caracterización, determinación de incompatibilidad y aspectos involucrados en su confinamiento, se estableció la responsabilidad amplia del generador sobre sus residuos. Ello significa que el manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos es una responsabilidad directa de quien los genera y, por lo tanto, el generador debe asumir los costos que esto implique, lo cual constituye un ejemplo de la aplicación del principio “el que contamina paga”, puesto que en la LGEEPA se considera que los residuos son la principal causa de contaminación de los suelos, y por ende, del agua.

Otras implicaciones de la citada legislación, incluyeron que los establecimientos generadores de residuos peligrosos (comprendidas

las instituciones educativas y los establecimientos industriales, comerciales y de servicios), requieran registrarse como tales ante la autoridad ambiental federal (actualmente la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]) para su control, y que ésta autorice los procedimientos para su acopio, almacenamiento, tratamiento, reciclado, incineración o confinamiento. Esto último, desencadenó el desarrollo de la infraestructura de servicios privados en este campo, o bien que algunos grandes generadores –particularmente industrias– establecieran sus propias formas de manejo de residuos peligrosos, como es el caso de la incineración de los residuos peligrosos de la industria farmacéutica o productora de agroquímicos.

Paradójicamente, al iniciarse la regulación de los residuos peligrosos en México, a través de un esfuerzo sin precedentes de emitir una ley, un reglamento y varias normas técnicas ambientales al respecto, no se realizó un esfuerzo similar para difundir y facilitar la comprensión y aplicación de dichos ordenamientos. Ello trajo como consecuencia que, quienes cumplían con la obligación de darse de alta como generadores de residuos peligrosos, a través de un formato en el que debían indicar las cantidades de los diversos tipos de residuos peligrosos que generaban –utilizando distintas unidades–, no supieran hacerlo. Como consecuencia de esto último, la mayoría de los formatos tuvieron que desecharse por no ser útiles para los fines para los que fueron concebidos, consistentes en integrar los inventarios de residuos peligrosos generados en el país.

Si en ese entonces (hace más de veinte años), se hubiera desarrollado un programa educativo y de capacitación técnica a los generadores de residuos peligrosos, sin duda se hubiera logrado prevenir o reducir muchos riesgos, e incluso se pudieron haber ahorrado costos innecesarios en su manejo.

Así por ejemplo, no se percibió la importancia de explicar a qué se debe y cuáles son las implicaciones de que un residuo (o un material) sea corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable o tenga capacidad infecciosa, así como de llamar la atención sobre la importancia de los símbolos que se asocian a cada una de estas características y con los cuales se deben marcar los envases o recipientes que contengan los residuos peligrosos correspondientes.

Más aún, no se apreció la relevancia de desarrollar guías o manuales acerca de las medidas de precaución y las buenas prácticas a seguir para prevenir riesgos, que orientaran a los generadores, a quienes manejan los residuos peligrosos, quienes pueden entrar en contacto con ellos, así como para la población general o para los demás seres vivos; particularmente en el caso de materiales reactivos que si se mezclan con agua o con otros residuos pueden provocar explosiones, incendios o la liberación de nubes venenosas.

Tampoco se consideró conveniente capacitar sobre las posibilidades de evitar la generación de residuos peligrosos a través de medidas como la sustitución de insumos peligrosos por otros que no lo fueran o de menor peligrosidad, pero igual de útiles.

Quince años después de esta primera legislación general de los residuos peligrosos, se promulgó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)²⁸, cuyo Reglamento se publicó en 2006, con lo cual se ha dado un nuevo giro a la regulación de los residuos en general, y de los residuos peligrosos en particular.

Ejemplo de lo anterior es que actualmente se distingue entre residuos peligrosos generados a nivel domiciliario (resultado de las prácticas de consumo). Los residuos peligrosos de establecimientos industriales, comerciales y de servicios (microgeneradores) y aquellos de pequeños generadores (en más de 400 kg y menos de 10 toneladas por año), o por grandes generadores (que producen más de diez toneladas por año o más de 27.5 kilos por día).

En el caso de algunos productos de consumo que al desecharse se convierten en residuos peligrosos, como los aceites lubricantes y solventes orgánicos, los fármacos (medicamentos caducos), las pilas y baterías que contienen mercurio, níquel o plomo, las lámparas fluorescentes o los envases vacíos de plaguicidas, la Ley establece la obligación por parte de los productores, importadores, exportadores y distribuidores de formular y ejecutar planes de manejo a través de los cuales puedan recibir de los consumidores los productos usados para su reciclado, tratamiento o disposición final.

²⁸ El 7 de octubre de 2003 se publicó la Ley en el Diario Oficial de la Federación (DOF).

No menos importante, es el hecho de que la legislación, en la actualidad, está orientada a prevenir la generación de residuos de toda índole (sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos) mediante cambios en los patrones de consumo y producción, así como de los estilos de vida. Asimismo, la legislación establece las bases para propiciar la maximización de la valorización material o energética de los residuos que no se puedan evitar, de manera que la política ambiental está basada en el esquema de las 3 Rs: Reducir, Reutilizar y Reciclar.

Igualmente destaca el hecho de que la legislación establece como un principio que:

La responsabilidad compartida de los productores, importadores, exportadores, comercializadores, consumidores, empresas de servicios de manejo de residuos, es fundamental para lograr que el manejo integral de los residuos sea ambientalmente eficiente, tecnológicamente viable y económicamente factible.

En este contexto, el trabajo que se realiza en la Facultad de Química de la UNAM, para desarrollar un modelo educativo tendiente a reducir la generación y a lograr un manejo ambientalmente adecuado de los residuos peligrosos derivados de la actividad experimental de los laboratorios de docencia e investigación, es coyuntural y una aportación que será de gran utilidad para otras instituciones educativas que aún no cuentan con una guía de buenas prácticas para el manejo seguro y ambientalmente adecuado de materiales y residuos peligrosos generados en condiciones similares.

También resalta el hecho de que la visión de este proyecto comprende el que los egresados de la UNAM actúen con responsabilidad social, principalmente en aquellas actividades que impliquen el trabajo con productos peligrosos, para no dañar la salud de los seres vivos ni al medio ambiente, lo cual trascenderá en otras esferas.

A lo anterior se suma la adopción de una estrategia basada principalmente en la cultura de la prevención de la generación, a ser desarrollada de manera gradual, empezando por establecer pautas seguras para el acopio y almacenamiento temporal de los residuos peligrosos que se generen en prácticas e investigaciones de laboratorio, destinados –según sea el caso– a disposición final vía su incineración o con-

finamiento, o bien a ser reciclados. La estrategia se complementa con la consideración de medidas para optimizar el uso de los materiales peligrosos a fin de minimizar la generación de residuos peligrosos, así como las destinadas a evitar –cuando sea posible– dicha generación, mediante la adopción de tecnologías limpias.

Específicamente, los pasos que se proponen para lograr los fines anteriores, constituyen una contribución particularmente útil para que profesores, investigadores y alumnos, las hagan una práctica común en sus actividades que involucren el manejo de materiales peligrosos y la generación de residuos peligrosos, dentro y fuera de la UNAM.

Así, el inventario de los residuos peligrosos existentes en los laboratorios constituye una etapa crucial para caracterizar y definir la magnitud del problema que representan; a lo cual se suma la identificación de los experimentos que los generan y la determinación del tipo, número, y volumen de cada uno de éstos. Estos elementos son la base para definir si el laboratorio es un micro, pequeño o gran generador, así como para fijarse metas de reducción en la generación o aprovechamiento de los residuos peligrosos potencialmente reciclables; elementos cruciales en todo plan de manejo de residuos obligatorio para los grandes generadores.

La separación de los residuos peligrosos conocidos de los desconocidos y su caracterización química, constituyen la base para la clasificación de los residuos en peligrosos y no peligrosos; lo cual es indispensable para el diseño de tratamientos para los residuos identificados como peligrosos y la elaboración de diagramas ecológicos para cada experimento.

Los diagramas ecológicos para cada experimento son un verdadero acierto didáctico y la base para el diseño de nuevos manuales para la enseñanza experimental en cada área académica y a los diferentes niveles, como lo indican las autoras de este trabajo.

Aunado a lo anterior, la optimización de los procedimientos actuales seguidos en los laboratorios (minimización de la generación de residuos) e incorporación de nuevos experimentos amigables con el ambiente (tecnologías limpias), tendientes hacia la descarga cero, no sólo son aplicables y útiles en el caso de la Facultad de Química de

la UNAM, sino pueden también llevarse a cabo en otros contextos siguiendo el mismo modelo de aproximación por fases.

Son de reconocer los logros alcanzados a la fecha con la instrumentación del modelo citado, que incluyen la “incorporación a los programas de enseñanza de la Química de una nueva cultura del cuidado del medio ambiente, a través del manejo y tratamiento de los residuos peligrosos generados en los experimentos, tendiendo sobre todo a la búsqueda de procesos limpios”.

Dado el papel de las universidades en la extensión del conocimiento, la integración de una serie de nuevos manuales en los que cada experimento contemple la separación y tratamiento adecuado de los residuos peligrosos generados, prevista como parte del proyecto, es por demás bienvenida y debiera servir de ejemplo para seguir llenando los vacíos que aún existen en este campo dentro y fuera de las universidades.

3.6

A MANERA DE RECAPITULACIÓN

SANTIAGO CAPELLA
VIZCAÍNO

Después de leer y releer los textos que se presentan en este libro, lo primero que me viene a la mente es una pregunta: ¿por qué acepté hacer este comentario? Ésta es una de esas veces en las que escribir unas cuantas líneas es camino cuesta arriba. No es por falta de interés o de importancia en las experiencias y comentarios que se presentan. Todas son ricas y valiosas, narradas por sus actores/creadores principales, y ése es, posiblemente, su principal valor: el conocer de primera mano la experiencia de experimentar la enseñanza experimental. Lo que se me hace inasible es, precisamente, el tema central: “la enseñanza experimental”. Inasible no en los casos en particular, sino cuando se intenta aprehenderla como un todo conceptual.

La educación, la enseñanza, el aprendizaje son fenómenos sociales y se rebelan a comportarse según normas, dogmas y axiomas definitorios y totalitarios. Entendiendo esto último en su sentido de incluir todas las partes y atributos de algo. Amarga es la experiencia de estos últimos tres o cuatro decenios, y más amargos los resultados de la imposición globalizadora de soluciones únicas a problemas que, aunque similares, ocurren en contextos económicos, políticos y sociales diferentes.

Se describen en este texto cinco casos que me atrevo a clasificar en dos grupos. En uno están los que tienen que ver con la forma y los contenidos: el uso de la Química en microescala y la inclusión del manejo adecuado de materiales y residuos peligrosos; en el otro, los que refieren cambios sustanciales en el método para acercar por medio de la experimentación el conocimiento al estudiante.

Al leer cada uno de ellos se percibe la pasión y la emoción con que sus autores, actores principales de esas experiencias, se comprometieron en lograr mejoras sustantivas de la enseñanza experimental en la Facultad de Química. Pasión y emoción que no demerita, al contrario, la validez de sus argumentos y conclusiones. En conjunto integran un documento de enorme valor para entender el origen y la evolución de la enseñanza experimental en la Facultad de Química, evolución que, como es natural e inevitable, está enmarcada, condicionada y dirigida por el contexto político, económico y social en el que ocurre. Los autores así lo entienden y es de agradecer que lo hayan incluido en sus documentos.

La transformación de las operaciones de laboratorio hacia la microescala puede parecer trivial. Total, se trata sólo de hacer todo más pequeño. No es así, y lo señalan acertadamente los autores. Reducir por debajo de un límite, que depende del experimento, cambia radicalmente la experiencia práctica. Exige del estudiante una comprensión nítida del qué y para qué del experimento, de modo que pueda entender claramente la razón del cómo. Tal cual se menciona en el texto, puede ser propicio para estimular la creatividad experimental del estudiante; claro, si también se cuenta con una buena actitud y orientación del profesor. La reducción en las cantidades de las sustancias no sólo representa una disminución en los costos de operación, aunque no necesariamente en los de inversión, también complementa la idea del manejo responsable de los productos químicos, que es materia de otro de los textos incluidos en esta obra. Después de leer la experiencia descrita, me convenzo de que incorporar las técnicas de microescala, junto con otras, enriquece la enseñanza experimental. No me extiendo en repetir lo dicho en el texto, pero no quiero terminar mi comentario sin hacer la reflexión sobre la microescala, por la reducción en costos y necesidad de espacios, es una alternativa que puede alejar la tentación de sustituir la enseñanza experimental real por la alternativa de las simulaciones virtuales de la realidad, las cuales ofrecen las nuevas tecnologías, mismas que, estoy convencido, harían virtualmente de la enseñanza experimental una simulación.

Cambiar las costumbres y la actitud frente a ellas en una persona no es fácil, cambiarlas en una comunidad a veces parece tarea imposible. La narración de cómo se dio el proceso para incluir en la enseñanza experimental el manejo adecuado de materiales y residuos peligrosos es un gran ejemplo de la tenacidad, la dedicación y el trabajo necesarios para lograr un cambio en una comunidad. Superficialmente, puede parecer que tan sólo se trata de incluir unos cuantos conceptos y tareas más al programa de actividades del laboratorio, pero es mucho más que eso, es modificar la conducta personal y adquirir la conciencia y comprensión de la responsabilidad que tienen los profesionales de la Química hacia la sociedad. ¿No es eso consustancial al proceso de enseñanza-aprendizaje? Sin duda. ¿Se logra con la propuesta que presentan las autoras? La evidencia empírica de mi experiencia personal con los estudiantes me dice que sí. Aunque es difícil discernir qué tanto

viene del cambio en la enseñanza experimental y cuánto de la conciencia ambiental incorporada como una de las preocupaciones centrales de la sociedad. La experiencia descrita por las autoras muestra también que para lograr cambios sustanciales no son imprescindibles ni los recursos millonarios, ni la desinstitucionalización del proceso de cambio.

Los tres textos restantes con sus respectivos comentarios son unos documentos excepcionalmente valiosos en cuanto a la reflexión, el análisis y la discusión del aprendizaje por medio del descubrimiento. Ampliamente descriptivos y reflexivos, poco más se podría añadir sin repetir innecesariamente lo que allí se dice. Química Experimental Aplicada, Ciencia Básica y Reforma de la Enseñanza Experimental, tres experiencias docentes, tres momentos históricos y, aunque con matices y formas de organización diferentes, una misma visión: aprender haciendo. No es un concepto nuevo, fue exigido por los gremios en la Edad Media como la única forma de adquirir un oficio y, posiblemente, esa exclusividad influyó en la desaparición de los gremios como “instituciones educativas”. Aprender el conocimiento descubriéndolo, como práctica didáctica explícita, es mucho más reciente y sin duda polémico. Es muy esclarecedor el texto experto de Andoni Garritz. Yo, como él, también estoy convencido de sus virtudes, aunque más por mi propia experiencia empírica de estudiante y maestro.

Por mi calidad de lego en estos temas me voy a permitir referir dos impresiones personales inolvidables relacionadas con esto. La primera, como estudiante del segundo semestre de la carrera, en análisis cualitativo. Por primera vez en mi vida me enfrentaba a la necesidad de resolver problemas químicos prácticos. Así como venía de la preparatoria, limpio de conocimientos y de experiencias de Química, a pesar de lo que creía mi profesor, quien estaba convencido de que aprendía algo en sus clases. Contra todos los pronósticos de las primeras semanas del curso, guardo un grato recuerdo de esas horas de encierro en un laboratorio maloliente. Aprendí muchas cosas, entre otras, que me gusta trabajar en el laboratorio; que los vapores de los ácidos se escapan de los frascos ámbar de tapón esmerilado y deshacen las batas de algodón y las medias de nylon de las compañeras; que para que ocurra la reacción deseada no basta con mezclar los reactivos, que hay que hacerlo cuidando las proporciones y condiciones; y, lo más importante, que los experimentos sólo nos dicen algo si observamos con cuidado,

con detenimiento y **con intención**. Podía repetir la marcha de Bunsen de memoria, pero tuvieron que pasar muchos años y horas de estudio en los libros para que entendiera la Química de eso que hice en el laboratorio de “cuali”.

La otra experiencia fue al final de la carrera, Química Experimental Aplicada, otra vez horas de encierro en el laboratorio. La situación parecida: ahí tienes un problema, resuélvelo. Pero las condiciones eran muy diferentes, había cursado ya prácticamente toda la carrera de Química y una parte de la de Ingeniería Química, y había también un mensaje implícito en la actitud de los profesores: estamos aquí para ayudarte a pensar en la dirección correcta, ten confianza en ti mismo, sabes lo que debes saber para enfrentar y resolver el problema, ordena lo que ya sabes y úsalo. Aprender haciendo, aprender descubriendo, sí, pero no de cualquier manera. Estoy convencido que por encima de cualquier otra consideración, sólo puede haber un aprendizaje efectivo si el compromiso y la actitud del maestro y del estudiante son las adecuadas.

Maestros y aprendices corresponsables del proceso de enseñanza aprendizaje. En este sentido, el de explorar el papel del maestro, del conjunto de maestros, y su posición en la organización académica y administrativa, el origen, desarrollo y destino de Ciencia Básica en la Facultad de Química y en la FES Cuautitlán merece ser analizada cuidadosa y detalladamente. Es la experiencia más completa, de la que podemos aprender (por medio del descubrimiento de sus virtudes y fallas) para avanzar hacia una mejor enseñanza experimental. Junto con Química Experimental Aplicada es el experimento sobre enseñanza experimental más prolongado y nos puede ayudar a entender y resolver el problema del aparentemente inevitable deterioro y anquilosamiento por envejecimiento. Para los que tenemos ya algunos años dedicados a este negocio de enseñar, no es nuevo que una vez pasado el impulso voluntarista y la energía creadora del inicio de un proyecto de largo aliento se caiga en una rutina gris y desconectada de las intenciones fundadoras.

Enseñanza experimental: ¿para qué?, ¿para quién?, ¿para cuántos?, ¿en qué momento (circunstancias)?, ¿de qué manera? Y para cada aproximación al conocimiento por medio de la experimentación ¿es efectiva (eficaz)?, ¿es eficiente?, ¿es suficiente? Sin respondernos todas y cada una de ellas, no podemos evaluar si vamos en el camino correcto.

La lectura reflexiva de estos escritos es inquietante y enriquecedora para cualquiera que se ocupe y preocupe de la formación universitaria de los jóvenes estudiantes. Se apuntan respuestas a preguntas centrales sobre la enseñanza experimental. Pienso, sin embargo, que aún está pendiente, o al menos inacabada, la respuesta a unas cuantas de ellas.

4 CONCLUSIONES

En enero de 2010, se organizó un Coloquio sobre *Retos de la Enseñanza Experimental* realizada durante el intersemestre del periodo lectivo 2010-2, en las instalaciones de la Facultad de Química, como un espacio de reflexión a las inquietudes de esta actividad. El coloquio fue organizado por el Seminario de Investigación Educativa de la Facultad de Química (FQ)¹.

En el coloquio participaron profesores de nivel licenciatura, de más de 30 asignaturas diferentes de la Facultad de Química, del Instituto de Química, de las FES Zaragoza y Cuautitlán, de las Facultades de Ciencias y de Ingeniería, de la UNAM, además de docentes de la Secretaría de Educación Pública, del Gobierno del D.F., y de la Universidad Iberoamericana.

Se invitó con recursos del PAPIME a dos expertas internacionales en el área de enseñanza de las ciencias a las doctoras Melanie Cooper, de la Universidad de Clemson (Estados Unidos) y Sibel Erduran, de la Universidad de Bristol (Reino Unido), para compartir sus experiencias con expertos nacionales en áreas de la Química Experimental. Ambas participaron en una mesa redonda, y desarrollaron cada una un taller para profesores de nivel licenciatura, asimismo, dieron una conferencia en su área de investigación educativa. Junto a ellas participaron también, de la FQ, José Antonio Chamizo, y de la Universidad Iberoamericana, Jorge Ibáñez.

Al inaugurar esta actividad, el entonces director de la FQ, Eduardo Bárzana García, sostuvo que la enseñanza experimental ha sido y deberá continuar como uno de los grandes acervos de los egresados de esta Facultad.

“Cuando uno de nuestros estudiantes va a otra universidad, nacional o extranjera, se le reconoce su habilidad experimental; eso nos vuelve competitivos en el mundo de la investigación. Es éste, por tanto, un buen

¹ Como antecedente a este coloquio, el SIEQ organizó un Simposio de la Enseñanza Experimental en septiembre de 2004, con la participación de cuatro profesores del extranjero: Derek Hodson, Marie Genevieve Seré, Miguel Ángel Gómez Crespo y John Joseph Lagowski, además de algunos de los integrantes del SIEQ, dirigido a profesores de bachillerato y licenciatura.

momento para reflexionar en torno hacia dónde transitar, revalorar el papel de esta enseñanza y buscar la manera de fortalecerla”, apuntó.

En este sentido, agregó el titular, este Coloquio constituye “un encuentro importante, porque significa una reflexión acerca de qué es la educación en la ciencia, lo cual debemos hacer necesariamente. No puede haber educación en Química con una enseñanza experimental débil”.

También, el secretario Académico de Docencia de la FQ, Plinio Sosa Fernández, dijo que en los últimos 30 años, la investigación en educación ha experimentado un gran crecimiento y gracias a ello, “hemos aprendido que la educación no es algo simple, sino complejo y juega con muchos factores; que no somos grabadoras de alta fidelidad, no capturamos información fielmente como lo hacen las computadoras, que modificamos un poco lo que sabemos y otro poco lo que aprendemos”.

La enseñanza experimental, refirió, no debe ser una serie de repeticiones, ni una capacitación para seguir instrucciones, sino “un hermoso pretexto para reflexionar: una brillante amalgama donde el pensar y el hacer sean inseparables”.²

A fin de que no se perdiera el entusiasmo y el interés despertado por esta iniciativa, el SIEQ le hizo llegar al consejo Técnico de la FQ (máxima autoridad de la misma), en febrero de 2010, las conclusiones del evento y algunas recomendaciones acerca de acciones que pudieran realizarse en la Facultad de Química en un futuro próximo:

- **Ofrecer** a los académicos de la Facultad más oportunidades de participar y de intercambiar experiencias en actividades que atiendan a las necesidades de formación y actualización de los docentes, para enfrentar los retos emergentes de su labor.

Sin cambiar el número de créditos, conviene disminuir la cantidad de contenidos en los programas curriculares, con el fin de profundizar más en la construcción de conocimientos, habilidades y valores de los estudiantes.

² “Coloquio Retos de la Enseñanza Experimental y de la Didáctica de la Química Universitaria” en *Gaceta Facultad de Química*, VII época, número 60, marzo 2010.

- Promover la participación activa de los estudiantes en sus cursos curriculares; para ello, se deberá fomentar el trabajo grupal colaborativo entre ellos y *disminuir* la parte expositiva de los docentes.
- **Promover** en los estudiantes la argumentación basada en evidencias en la construcción de sus conocimientos y en la comprensión de las ideas de otros.
- **Hacer** énfasis en el manejo de modelos en la enseñanza y en la construcción de modelos por parte de los estudiantes, en el aprendizaje.
- Recientemente, se acepta que utilizar los laboratorios para aprender conceptos teóricos es ineficiente, por ello, si lo que se busca es promover habilidades de pensamiento científico, hay que **incorporar** en el trabajo de laboratorio al menos un proyecto de investigación que se resuelva experimentalmente.
- **Incorporar** mecanismos e instrumentos de evaluación acordes con las nuevas formas de enseñanza-aprendizaje que promuevan y reconozcan aprendizajes significativos.

Al final de este texto, en el que quedan muchas preguntas sin responder, es al menos claro que la enseñanza experimental fue, es y será fundamental, en la construcción de la identidad de los estudiantes de las carreras de Química en la UNAM. Cómo no recordar, generación tras generación, las quemaduras de batas. A pesar de sus dificultades, todavía hoy, la realidad de los laboratorios es preferible a la ficción de las pantallas.

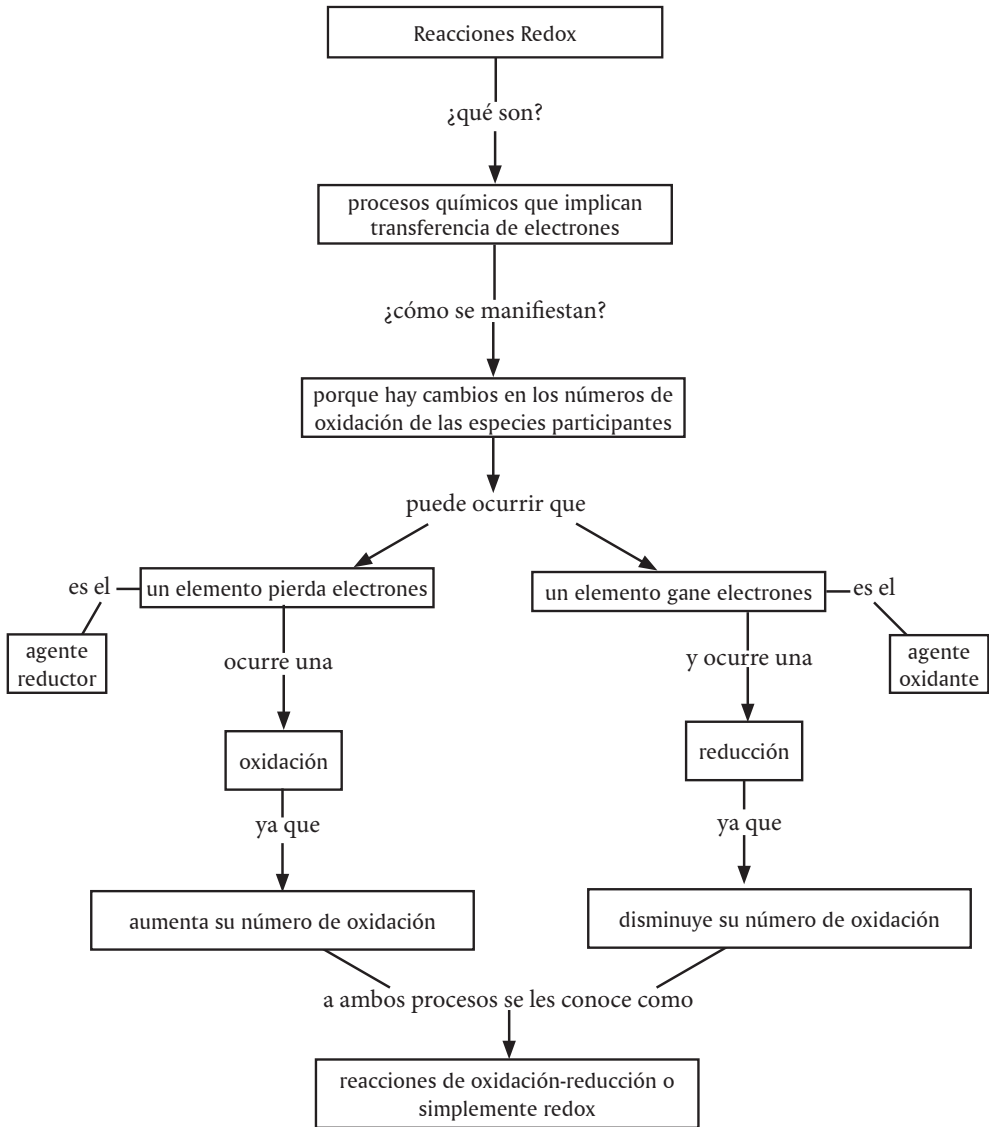
Por otro lado, más allá de la diversidad de proyectos que se han llevado a cabo para mejorar la enseñanza experimental, y una vez que su complejidad va en aumento, sin la activa, preparada y amplia participación de los docentes involucrados en ella, estos proyectos están condenados al fracaso.

5 ANEXOS

En esta sección se presentan dos tipos de documentos: aquellos que ejemplifican la evaluación del trabajo experimental en química y algunos de los protocolos diseñados durante las diversas experiencias narradas con anterioridad. Hay que destacar que no se cuentan con estos documentos en el caso de Química Experimental, ya que el profesor le planteaba al alumno de manera verbal el problema que debía resolver.

5.1
EJEMPLOS DE
INSTRUMENTOS
DE EVALUACIÓN

Mapas conceptuales (MC). Ejemplo de mapa conceptual para el tema de Óxido-reducción para Química General.



UVE Heurística

Ejemplos de puntaje para dos secciones de la UVE Heurística. Propuesta de Gowin	
<i>Pregunta Central</i>	Puntos
No se identifica ninguna pregunta central.	0
Se identifica una pregunta central, pero no se trata de los objetos y del acontecimiento principal ni sobre la componente conceptual de la UVE.	1
Se ha identificado una pregunta central que incluye conceptos, pero no sugiere los objetos o el acontecimiento principal o se han identificado objetos y acontecimientos erróneos en relación con el resto del ejercicio de laboratorio.	2
Se ha identificado claramente una pregunta central que incluye los conceptos que se van a utilizar y sugiere los acontecimientos principales y los objetos correspondientes.	3
<i>Acontecimientos / Objetos</i>	
No se han identificado acontecimientos ni objetos.	0
Se ha identificado el acontecimiento principal o los objetos y ambos son consistentes con la pregunta central, o se ha identificado un acontecimiento y varios objetos pero son inconsistentes con la pregunta central.	1
Se ha identificado el acontecimiento principal (con los objetos correspondientes) y es consistente con la pregunta central.	2
Igual que el caso anterior, pero también se sugiere cuáles son los datos que se van a registrar.	3

Ejemplo: V de Gowin para el tema Características de una disolución. Química General

Pregunta Central

¿Por qué se disuelve una sustancia en un disolvente y qué cambios están involucrados en la disolución de una sal?

Teoría de referencia

Se parte del Modelo Cinético Molecular a partir del cual se sabe que los sustancia son moléculas que se encuentran en movimiento aleatorio y con energía cinética promedio para cierta temperatura absoluta.

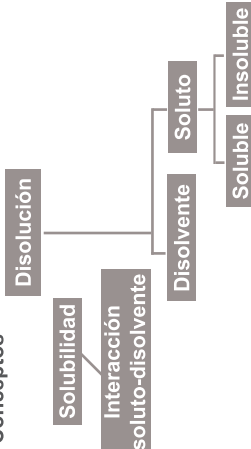
Principios, ideas básicas, afirmaciones

El fenómeno de disolver ocurre debido a que las interacciones intermoleculares características del soluto y el disolvente (puentes de hidrógeno, ión-dipolo) permiten que las moléculas de ambos interactúen y el sólido se disuelva en el líquido.

Cuando el soluto y el disolvente están en contacto y se forma una disolución, ésta tendrá propiedades diferentes que las de sus componentes debido al nuevo arreglo en la estructura molecular dentro de ella.

El efecto de la temperatura en la solubilidad es tal que se tiene que mantener la temperatura constante durante todo el experimento, ya que ésta implica la generación de movimiento de las moléculas del disolvente y así un mayor espacio intermolecular que puede ser ocupado por las moléculas del soluto.

Conceptos



Hechos acontecimientos y

Se estudia la disolución de sales en agua poniendo énfasis en los cambios de las propiedades del disolvente y soluto manteniendo constante el volumen y cantidad de soluto.

Conclusión

1. Todos los solutos se disolvieron completamente en agua debido a que soluto y disolvente son sustancias con polaridad. Debido a que dos son sustancias iónicas que pueden interactuar de forma ión-dipolo con las moléculas del agua y generar una disolución. El azúcar tiene radicales OH^- que pueden interactuar con la molécula del agua y de ésta forma se rompe el enlace entre moléculas de azúcar.

2. Las propiedades de la disolución cambian en comparación con la de sus componentes. Muy lógico en el sentido de que ya están interaccionando nuevos arreglos de partículas y por eso mismo la masa de la disolución es mayor, su pH cambia a ácido debido a que ya existen iones en solución y se pudo haber ocasionado la formación de protones o iones hidróxido. En relación con la temperatura de ebullición tendría que ser mayor que la del agua porque existe un nuevo componente que tiene que alcanzar su punto de ebullición y por ser sólido será mayor.

Registro y transformación de datos

TABLA 1
Propiedades de distintas disoluciones a temperatura constante de 21 °C.

Soluto	Azúcar	Sal	NH_4Cl
Vol. Inicial (mL)	5	5	5
Vol. Final (mL)	5.1	5.1	5.2
Masa (g)	5.32	5.47	5.29
Densidad (g/mL)	1.043	1.072	1.017
pH	5	5	4
Temp. Ebullición (°C)	80	92	90

Procedimiento

- MANTENER SIEMPRE LA TEMPERATURA CONSTANTE**
- Preparar 3 disoluciones de 5.0mL al 10% m/v de azúcar, NaCl y NH_4Cl .
 - Observar el proceso de disolver.
 - Medir el peso de un volumen de 5.0mL de agua.
 - Comparar el volumen de 5.0mL de agua con los de las disoluciones.
 - Obtener el valor de la densidad de cada disolución haciendo uso de su masa y volumen.
 - Comparar todos los resultados.

Cuestionario KPSI de conceptos para la segunda y cuarta sesiones.

En el siguiente cuadro se presentan algunos conceptos clave para el tema al que se dedicarán las próximas clases. Anotar en la casilla correspondiente las respuestas a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Has estudiado el concepto antes?: 1 = no; 2 = sí.
- b) ¿Qué grado de conocimiento tienes sobre cada concepto?: 1 (no lo conozco), 2 (lo comprendo un poco), 3 (lo comprendo bastante bien), 4 (lo comprendo y lo puedo explicar a un compañero o compañera).
- c) ¿Qué grado de conocimiento tienes sobre el procedimiento?: 1 (no lo sé hacer), 2 (lo sé hacer un poco), 3 (lo sé hacer bastante bien), 4 (lo sé hacer y lo puedo explicar a un compañero o compañera cómo se hace).
- d) Una vez comentadas en clase las distintas opiniones, dobla la hoja ocultando tus respuestas previas y, por favor, vuelve a evaluarte calificarte en la columna de evaluación posterior de acuerdo con las siguientes opciones:
 - Para revisión de conceptos: 1 (lo conozco, pero no lo comprendo), 2 (lo comprendo un poco), 3 (lo comprendo bastante bien), 4 (lo comprendo y lo puedo explicar a un compañero o compañera).
 - Para revisión de procedimientos: 1 (lo sé hacer, pero no lo haría yo solo), 2 (lo sé hacer un poco y lo haría solo), 3 (lo sé hacer bastante bien), 4 (lo sé hacer y lo puedo explicar a un compañero o compañera cómo se hace).

“Diferencia entre mezcla y sustancia (nivel macroscópico)”

a) Estudio previo, b) conceptos, c) procedimientos, d) revisión de conceptos o procedimientos.

No escribir sobre los cuadros sombreados

Evaluación previa			Evaluación posterior		
Estudio previo	Conceptos	Procedimientos	Conceptos	Revisión de conceptos	Revisión de procedimientos
			mezclas		
			sustancia		
			Mezcla homogénea		
			Mezcla heterógena		
			Distinguir de entre diferentes materiales cuáles son mezclas y cuales son sustancias		
			Distinguir entre una mezcla homogénea y una mezcla heterógena		
			Filtración		
			¿Cómo filtrar?		

DIAGRAMA HEURÍSTICO SOBRE: Síntesis y caracterización de una sustancia gaseosa		Pts						
HECHOS El peróxido de hidrógeno descompone en hidrógeno y oxígeno. El MnO_2 y el KI se utilizan como catalizadores en esta reacción. El oxígeno, como muchos otros gases, puede ser atrapado por desplazamiento de agua.		3						
PREGUNTA ¿Cómo afecta el uso de diferentes catalizadores en la reacción de descomposición del agua oxigenada para obtener 10 ml de oxígeno medido a través de su desplazamiento de agua?		3						
CONCEPTOS	METODOLOGÍA	0						
Aplicaciones El oxígeno es ampliamente utilizado en las industrias de manufactura de acero y papel	Procedimiento para la obtención de datos Utilizando la misma cantidad de peróxido de hidrógeno se requieren 120 s para obtener 10 ml de oxígeno medido a través del desplazamiento de una cantidad equivalente de agua. Empleando la misma cantidad KI como catalizador sólo se requieren 13 s	1						
		1						
Lenguaje Catalizador Velocidad de reacción Gas Energía de activación	Procesamiento de los datos para obtener un resultado <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Catalizador</th> <th>Tiempo (s) para obtener 10 ml de oxígeno</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MnO_2</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>KI</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table>	Catalizador	Tiempo (s) para obtener 10 ml de oxígeno	MnO_2	120	KI	13	1
	Catalizador	Tiempo (s) para obtener 10 ml de oxígeno						
MnO_2	120							
KI	13							
Modelo El catalizador aumenta la velocidad de la reacción disminuyendo su energía de activación	Análisis y/o conclusión derivado de los datos La velocidad de la reacción fue aproximadamente 10 veces mayor utilizando KI en lugar de MnO_2	2						
		2						
RESPUESTA O RESULTADO Utilizando diferentes catalizadores en la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno, la velocidad de la misma cambió. Como resultó ser más rápida con KI que con MnO_2 la energía de activación con la primera sustancia debe ser menor que con la segunda.		3						
REFERENCIAS De los hechos: Brown T. y Lemay E., <i>Química</i> , Prentice Hall, México, 1987. De los conceptos: Rayner G., <i>Química Inorgánica</i> , Pearson, México, 2000. De la metodología: González J. y Ortega F., <i>Prácticas de Química</i> , UNED, Madrid, 1998.		3						
Autoevaluación (total de puntos)/20 puntos posibles		20						

Rúbricas**RÚBRICA. PRÁCTICA ORGÁNICA 5. SÍNTESIS DE ISOXAZOLES**

Rubro a considerar	Novato	Desarrollo	Logrado
Marco teórico	Definición de Azoles y clasificación. (0-1p)	Definición teórica de azoles y clasificación. Propiedades físicas y químicas de los mismos. Usos en la industria farmacéutica. (2-3p)	Introducción coherente al contexto de la materia, así como la importancia de los azoles en la vida cotidiana. Así como su obtención industrial (4-5p)
Propuestas de síntesis (escritas)	Una búsqueda superficial desembocando en la ruta descrita en el protocolo, sin un análisis profundo de la técnica. (0-4p)	Una búsqueda más consciente obteniendo un listado de rutas alternativas, mínimo 3 logrando justificar solo una. (5-9p)	Descripción detallada de varias rutas sintéticas, así como el análisis de la técnica. Así como sus ventajas y desventajas de las mismas. (10-15p)
Discusión oral de las propuestas.	El estudiante se expresa en un vocabulario común, o tiene una falta de participación. (0-7p)	Que el alumno sea capaz de discutir la técnica, involucrando un lenguaje técnico de vez en cuando intervenciones por el profesor. (8-15p)	Explicación dada con un lenguaje científico de las propuestas, así como la elección correcta de la síntesis sin intervención del profesor. (16-20p)
Trabajo experimental	Deficiencias en el movimiento de un laboratorio, así como carencias en el orden y limpieza en la ejecución de la práctica. (0-5p)	Montado de equipo de laboratorio, monitoreo de la reacción. Supervisado por el profesor. Limpieza (6-8p)	Buenas prácticas de la laboratorio, así como el buen manejo de la instrumentación, así como el monitoreo de la reacción, sin ayuda del profesor. Es importante destacar la limpieza, así como el orden del lugar de trabajo. (9-10p)
Discusión grupal de los resultados	Falta de participación. Un vocabulario común, timidez al momento de hablar, y un análisis muy superficial de los resultados. (0-4p)	Discusión de la técnica, encaminada por el profesor. Así como la variedad de los resultados, con las variables determinantes en la práctica. (5-9p)	Explicación de una forma científica sobre el fenómeno observado o la síntesis, los factores involucrados en la síntesis. También se esperan comparaciones teóricas con otras materias primas, así como propuestas para la optimización de la práctica. (10-15p)
Referencias	Dos referencias mínimo que sean viables, y citadas correctamente y un website. (0-2p)	Tres referencias bibliográficas o hemerográficas con un web site reconocido, incluidos dentro del cuerpo del trabajo, reportadas correctamente. (3-4p)	Seis referencias viables de cualquier medio, con el link y fecha de actualización, citada correctamente. (5 p)
Informe de actividades	Limpio, con las ideas organizadas, coherencias y sin errores ortográficos y con una correcta expresión de las ideas discutidas. (0-6p)	Uso correcto de los diferentes signos de puntuación, expresión correcta sintácticamente. Sin errores de ortografía. Uso de un lenguaje científico para explicar los fenómenos observados (7-11p)	Se exige lo anterior, con un uso variado de sinónimos, una redacción clara, uso de los signos de puntuación. Empleo de la sintaxis y gramática esperada para el nivel cursado (12-15p)

Total de puntos: 85 puntos

5.2

EJEMPLOS DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES EN LA UNAM

Se presentan prototipos de prácticas de laboratorio que ejemplifican la forma en que materializan las propuestas experimentales que ha tenido la Facultad de Química en las últimas décadas. Como ya se dijo en su momento en Química Experimental y Aplicada, el profesor, de manera personal, le indicaba a los alumnos en qué tema realizar su investigación.

Experiencias:

1. CIENCIA BÁSICA
2. REFORMA DE LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL
3. MICROESCALA
4. SEGURIDAD Y RESIDUOS

1. CIENCIA BÁSICA

FACULTAD DE QUÍMICA. LABORATORIO DE CIENCIA BÁSICA 2ª ÉPOCA PRÁCTICA 4. DETERMINACIÓN DE LA VARIACIÓN DE ENTALPÍA Y EL TRABAJO DESARROLLADO POR UNA REACCIÓN QUÍMICA.

MANUAL DEL ALUMNO

1. **Objetivos**
2. **Indicaciones generales**
3. **Problema**
4. **Requisitos**
5. **Hipótesis**
6. **Procedimiento experimental**
7. **Organización y sistematización de los datos experimentales**
8. **Confrontación de los resultados con la(s) hipótesis**
9. **Cuestionario**
10. **Bibliografía**

Anexo. Cuestionario de preevaluación

1. OBJETIVOS

El alumno:

- 1.1 Discriminará, entre las reacciones que realizó en prácticas anteriores, cuál es la apropiada para esta práctica.
- 1.2 Modificará un calorímetro previamente construido para utilizarlo en esta práctica.
- 1.3 Calculará la entalpía molar de una reacción química a partir de los datos experimentales obtenidos en el laboratorio.
- 1.4 Determinará el trabajo realizado por el sistema a partir de las mediciones experimentales de la presión, el volumen y la temperatura.
- 1.5 Calculará el porcentaje de error experimental con respecto a los datos que aparecen en la bibliografía.

2. INDICACIONES GENERALES

- 2.1 Tiempo de realización: 2 a 3 horas.
- 2.2 Forma de trabajo: grupos de 2 a 3 alumnos.
- 2.3 Plan de trabajo: presentarlo de acuerdo con el instructivo general y discutirlo en grupo con el maestro.
- 2.4 Informe de trabajo experimental: cada alumno entregará un informe de trabajo en el que, previa revisión hecha por el maestro, será discutido en grupo.
- 2.5 Evaluación: el maestro evaluará el plan de trabajo, los informes, la participación en las discusiones en grupo, así como la realización del trabajo experimental.
- 2.6 Normas de seguridad: en el plan de trabajo incluir las normas de seguridad que corresponden al calorímetro y de objetos calientes, así como de los reactivos elegidos para la práctica. Asimismo, señalar los primeros auxilios que pueden prestarse en el laboratorio.

3. PROBLEMA

Determinar la variación de entalpía que ocurre durante una reacción química y el trabajo desarrollado durante el proceso.

4. REQUISITOS

- 4.1 Haber realizado y aprobado las prácticas anteriores de esta unidad.
- 4.2 Haber entregado y aprobado el plan de trabajo.
- 4.3 Haber aprobado el cuestionario de preevaluación (ver anexo).

5. HIPÓTESIS

Elaborar varias hipótesis acerca de lo que se espera que ocurra durante el proceso correspondiente a la reacción seleccionada.

6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 6.1 Reunir el material necesario para armar el calorímetro de acuerdo con las necesidades de este trabajo.
- 6.2 Reunir los reactivos necesarios, de acuerdo con la reacción seleccionada.
- 6.3 Calibrar el calorímetro.
- 6.4 Hacer los cálculos estequiométricos correspondientes.
- 6.5 Realizar la determinación calorimétrica de la reacción elegida. Asimismo, hacer las mediciones del volumen del gas desprendido.

7. ORGANIZACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE LOS DATOS EXPERIMENTALES

- 7.1 Tabular la información obtenida.
- 7.2 Realizar los cálculos para determinar la variación de entalpía que acompaña a la reacción química.
- 7.3 Calcular la entalpía molar de la reacción.
- 7.4 Calcular el trabajo realizado por el sistema.

8. CONFRONTACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA(S) HIPÓTESIS

- 8.1 Confrontar los resultados experimentales con la(s) hipótesis planteada(s).
- 8.2 Anotar las conclusiones.

9. CUESTIONARIO

- 9.1 ¿Qué criterio se siguió para elegir la reacción con la que se experimentó?
- 9.2 ¿Qué cálculos estequiométricos deben hacerse para realizar el trabajo experimental?
- 9.3 ¿A qué presión se llevó a cabo la reacción? ¿Influye esto en el trabajo realizado por el sistema?
- 9.4 ¿Qué tipo de energía se determina cuando el proceso ocurre a volumen constante?

- 9.5 ¿Qué importancia tiene el determinar la variación de entalpía que acompaña a una reacción y el trabajo realizado en el mismo proceso?
- 9.6 ¿Cuándo se hace necesario volver a calibrar el calorímetro?
¿Por qué?
- 9.7 ¿Cuáles son las posibles fuentes de error?
- 9.8 ¿Se cumplieron los objetivos propuestos en esta práctica?
¿Por qué?

10. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO

CUESTIONARIO DE PREEVALUACIÓN

1. ¿Por qué debe calcularse la cantidad de reactivos que se van a emplear?
2. ¿A qué presión se efectuará la reacción?
3. ¿Por qué es diferente la energía liberada en un proceso dependiendo si ocurre a volumen o presión constante?
4. ¿Por qué y en qué casos debe calibrarse un calorímetro?
¿Qué puede decirse del que va a usarse en esta práctica?
5. ¿Qué características deben tener los reactivos y los productos que participen en este proceso? Describir y explicarlas.
6. ¿Qué modificaciones deben hacerse al calorímetro ya construido para hacer esta nueva determinación?
7. ¿Cuáles son las ecuaciones termodinámicas que se manejan en este experimento?

2. REFORMA DE LA ENSEÑANZA EXPERIMENTAL

Lineamientos para la elaboración de guiones de enseñanza experimental. Para la elaboración del guión, el profesor deberá considerar lo siguiente:

1. En primer lugar, el profesor debe definir con precisión el objetivo académico a conseguir por el estudiante y especificar el conocimiento que se desea transmitir.
2. A continuación debe generar un problema mediante el cual el estudiante, al resolverlo, adquirirá el conocimiento señalado en el punto anterior.
3. Por medio del trabajo experimental en el laboratorio, sobre el tema definido en el punto 1, el profesor debe adquirir un dominio pleno del fenómeno por enseñar.
4. El trabajo experimental debe servir para establecer las condiciones de operación apropiadas para la experimentación.
5. Establecidas las condiciones de experimentación, el profesor debe seleccionar las sustancias, materiales, equipo, instrumentación, métodos de análisis, medidas de seguridad, etcétera, necesarios para las actividades experimentales.

El documento que debe presentarse para su evaluación deberá contener:

1. Para guiones en etapa inicial:
 - a) Título del guión
 - b) Asignatura
 - c) Semestre
 - d) Profesor(es) responsable(s)
 - e) Departamento
 - f) Objetivo Académico
 - g) Enunciado del problema a resolver. Éste consiste en una pregunta clara y concisa dirigida al estudiante.

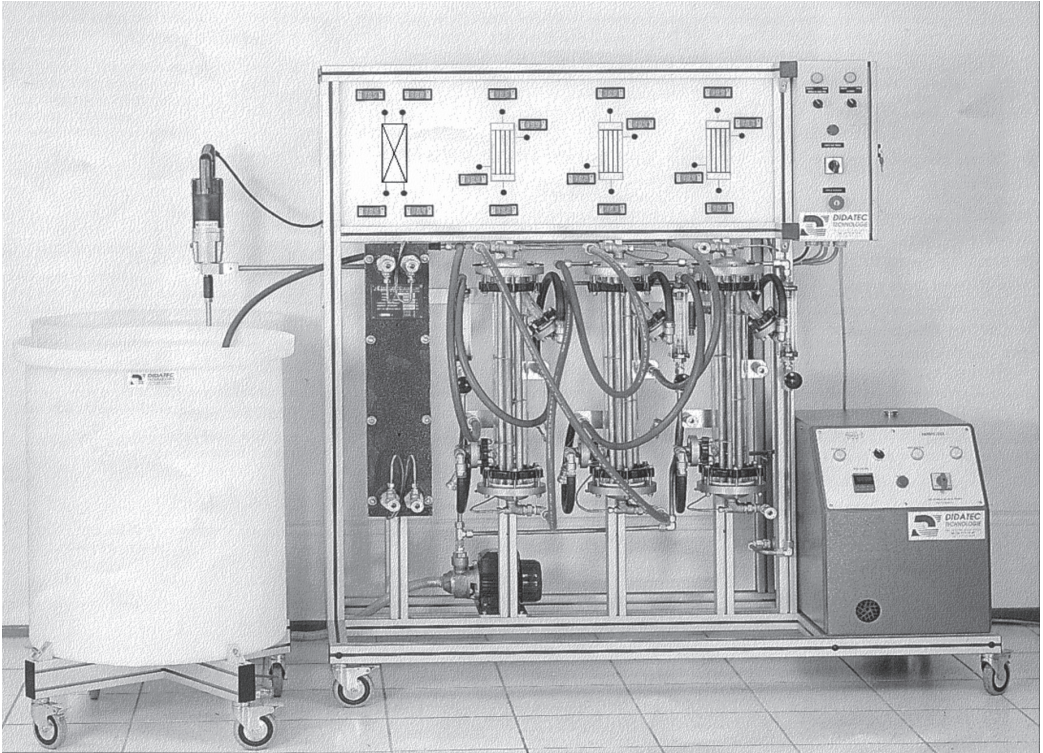
- h) Cuestionario preliminar sobre aspectos relacionados a las actividades propias de la experimentación. El cuestionario debe constar de una serie de preguntas que persigan lo siguiente:
- Ayudar a fijar la atención del estudiante en los aspectos claves, necesarios para dar solución al problema planteado.
 - Inducir al estudiante a percatarse de las relaciones de causalidad existentes en el o los fenómenos bajo estudio.
 - Ayudar al estudiante a constatar por sí mismo la validez de sus resultados obtenidos a lo largo del estudio experimental.
 - Facilitar un orden conveniente a los resultados obtenidos.

La última pregunta debe corresponder a la planteada en el enunciado inicial del guión, (inciso g) y debe dar lugar a una respuesta única y precisa. Esta respuesta será la conclusión misma del correcto análisis de los resultados válidos obtenidos durante la experimentación realizada.

2. Para guiones en etapa intermedia y final:

- a) Título del guión
- b) Asignatura
- c) Semestre
- d) Profesor(es) responsable(s)
- e) Departamento
- f) Objetivo académico
- g) Trabajo experimental realizado por el profesor sobre el tema
- h) Condiciones establecidas para que el estudiante experimente (información sobre intervalos de operación experimental recomendables, secuencia de eventos iniciales, etc.)
- i) Justificación de estas condiciones de experimentación
- j) Texto del guión de enseñanza experimental

CAMBIADORES DE CALOR EN SERIE



PROBLEMA:

¿Cuál es el menor flujo de agua de enfriamiento que se requiere para enfriar una corriente de proceso de 100 L/h desde 50°C hasta 28°C?

Usa las cuatro alternativas en el orden siguiente, será preponderante el ahorro de agua de enfriamiento.

1. El arreglo de 2 cambiadores en serie de acuerdo con el arreglo 1
2. El arreglo de 2 cambiadores en serie de acuerdo con el arreglo 2
3. Un cambiador de coraza con tubos
4. Un cambiador de placas

DESARROLLO EXPERIMENTAL

OPERACIÓN DEL EQUIPO

Con relación a la **Figura 1**

- a. Conectar el tanque de agua fría (6) en la toma de alimentación del módulo de transferencia de calor, y abrir la válvula situada en la base del tanque.
- b. Llenar con agua el tanque (6).
- c. Interconectar los cambiadores de placas (8) y coraza con tubos de cobre (9) como se muestra en el arreglo 1. Utilizar las mangueras rojas para el agua caliente, las azules para el agua fría. Para conectar o desconectar cualquier manguera del equipo, desplazar hacia atrás el niple de ajuste en la toma seleccionada. Consultar a su profesor.
- d. Abrir la válvula de alimentación de agua que alimenta al termorregulador, consultar con su profesor sobre la ubicación de la misma.
- e. Activar el interruptor principal de energía eléctrica, consultar con su profesor para que les indique la ubicación.
- f. Utilizar la llave que abre la cerradura de seguridad (1), accionar la perilla hacia fuera.
- g. Alimentar energía eléctrica al módulo con la perilla (2), colocarla de la posición 0 a la posición 1.
- h. Alimentar energía eléctrica al termorregulador con la perilla (3), pasando de la posición *paro*, a la posición *marcha*.
- i. Accionar la perilla (4) pasando de la posición 0 a la posición normal haciendo doble clic a la izquierda. Esta operación ocasiona el arranque de la bomba del termorregulador donde el flujo se deberá ajustar a 100 L/h y deberá permanecer constante para cualquier corrida experimental, el flujo se deberá controlar con la válvula ubicada en el rotámetro (12).
- j. Programar el termorregulador a una temperatura de 55°C, utilizando los 3 botones del programador-indicador (5). Mantener presionada la tecla izquierda mientras sube o baja las lecturas con las teclas de la derecha.

- k. Alimentar agua fría al módulo de transferencia de calor utilizando el botón (10), marcha bomba de agua fría, con un flujo constante de 100 L/h, que deberá controlar con la válvula ubicada en el rotámetro (11).
- l. Tomar las lecturas de las temperaturas de entrada y salida de los cambiadores en operación, mostradas en las carátulas (7), esperando el tiempo necesario para que se estabilicen las temperaturas.
- m. En las siguientes corridas experimentales, aumentar cada 50 L/h el flujo de agua fría, tomando las lecturas de entradas y salidas de los cambiadores en operación.
- n. Para recuperar rápidamente la temperatura programada del termostato al finalizar cualquier corrida experimental, cancelar momentáneamente la alimentación del agua fría al sistema.

Nota: La carátula del termopar del flujo de alimentación de agua caliente del primer cambiador del arreglo, servirá de referencia para indicar que la temperatura de alimentación ha alcanzado nuevamente los 50°C.

- o. Revisar durante la experimentación el nivel del tanque de agua fría alimentada por la línea de suministro, para evitar derrames o faltante de agua de enfriamiento.

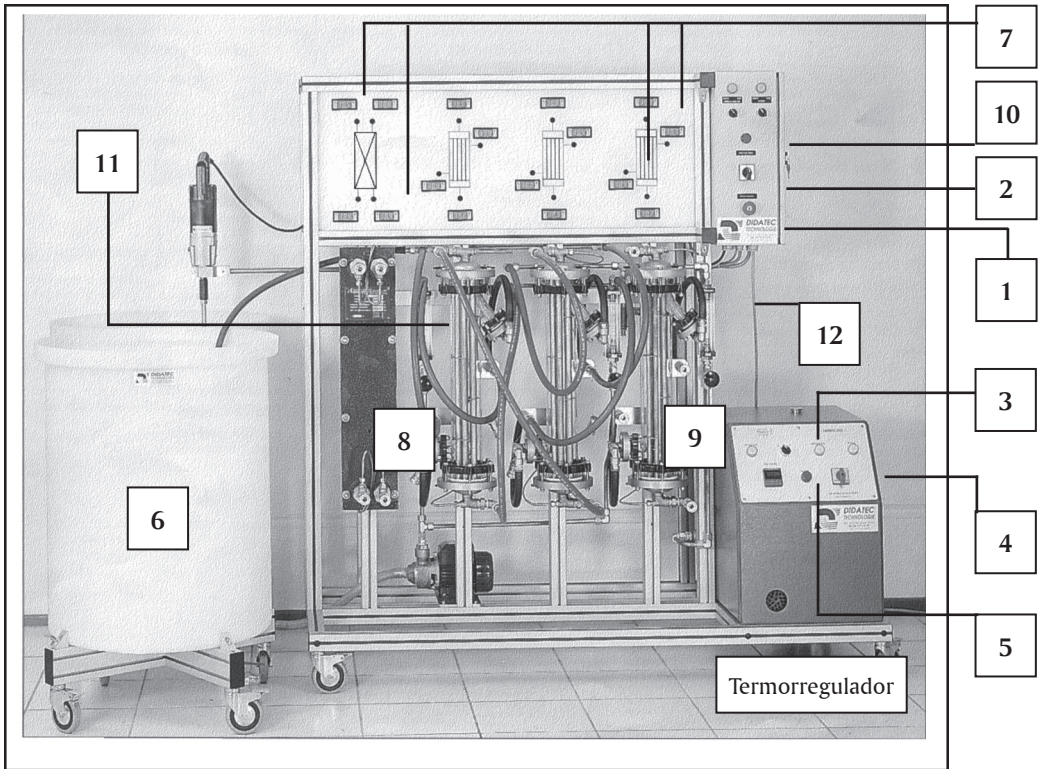
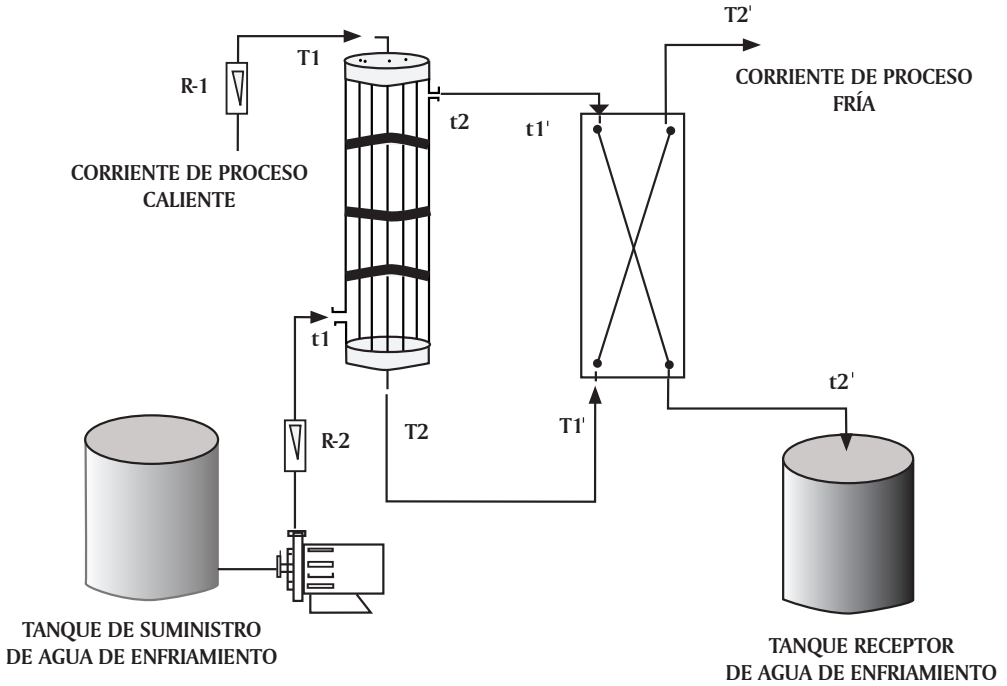


Figura 1. Módulo de transferencia de calor.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

I.- Llevar a cabo la experimentación utilizando el arreglo 1 y vertir sus resultados en la siguiente tabla.



Arreglo 1
DATOS EXPERIMENTALES DEL ARREGLO 1

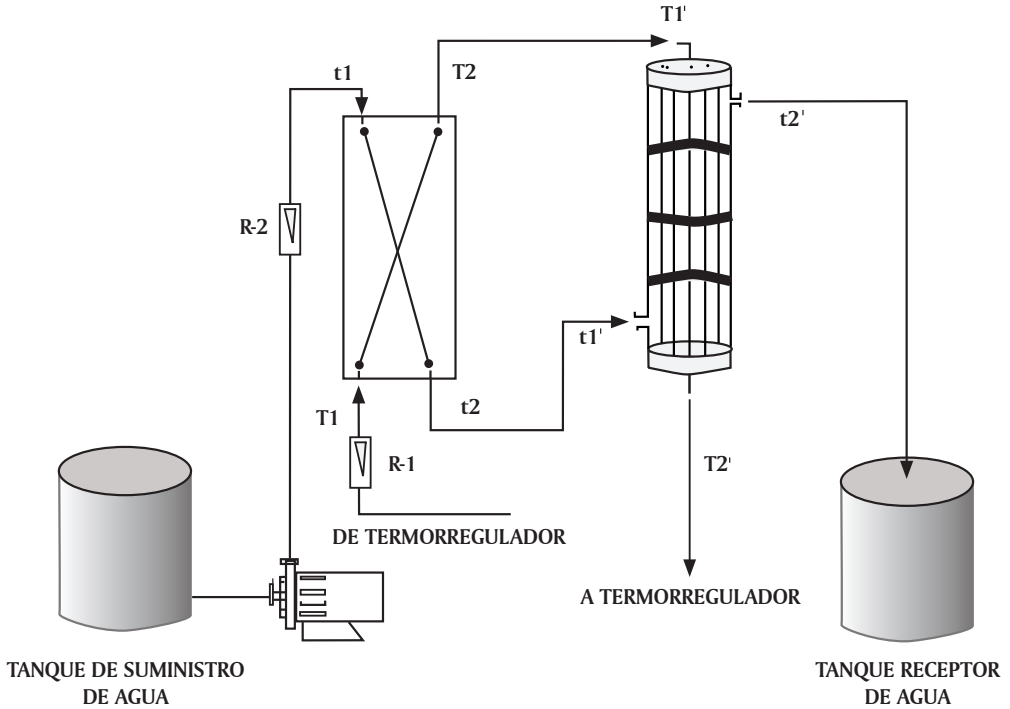
Cambiador de coraza y tubos					Cambiador de placas					Flujos	
T1 °C	A	t1 °C	t2 °C	LMTD °C	T1' °C	B	t1' °C	t1' °C	LMTD °C	Wc (L/h)	Wf (L/h)
	T2 °C					T2' °C					
50										100	100
50										100	150
50										100	200
50										100	250
50										100	300
50										100	350

II.- Trazar en una misma gráfica los perfiles de las temperaturas A y B vs. Wf de las corrientes de proceso (Gráfica 1).

CUESTIONARIO NO. 1

1. ¿Por qué el perfil de temperaturas B de la corriente de proceso (salidas del cambiador de placas) está siempre por abajo del perfil A (salidas del cambiador de coraza y tubos)?
2. En relación con el enfriamiento de la corriente de proceso, ¿qué interpretación física tienen las pendientes de los perfiles de temperaturas A y B?
3. Proponga tres nombres para dar significado a las pendientes de los perfiles de temperaturas.
4. ¿Por qué razón a cualquier incremento de flujo de agua fría, la corriente de proceso se enfría más en un cambiador que en otro?
5. ¿Qué interpretación física tiene la diferencia de temperatura media logarítmica en el cambiador de coraza y tubos y en el cambiador de placas?
6. ¿Por qué, a pesar de que la DTML en el cambiador de coraza y tubos es mayor que la DTML en el cambiador de placas, las pendientes del perfil de enfriamiento A, son menores que las del perfil B?
7. ¿Qué flujo de agua de enfriamiento debe utilizarse para enfriar la corriente de proceso?
8. ¿Con este resultado se resuelve el problema planteado?

III.- Continúe la experimentación utilizando el arreglo 2 y vierta sus resultados en la siguiente tabla.



Arreglo 2
DATOS EXPERIMENTALES DEL ARREGLO 2

Cambiador de placas				Cambiador de coraza y tubos				Flujos	
T1 °C	C T2 °C	t1 °C	t2 °C	T1' °C	D T2' °C	t1' °C	t2' °C	Wc (L/h)	Wf (L/h)
50								100	100
50								100	150
50								100	200
50								100	250
50								100	300
50								100	350

IV.- Incorpore en la **Gráfica 1** los perfiles de las temperaturas C y D vs. Wf del Arreglo 2 (**Gráfica 2**).

V.- Trazar en una misma gráfica las diferencias de las temperaturas ($T1' - T2'$) vs. Wf del arreglo 1 y ($T1' - T2'$) vs. Wf del Arreglo 2 (**Gráfica 3**).

CUESTIONARIO NO. 2

1. ¿Encuentra alguna diferencia significativa entre las pendientes de los perfiles de las temperaturas de enfriamiento A y D del cambiador de coraza y tubos? Explique por qué.
2. ¿Encuentra alguna diferencia significativa entre las pendientes de los perfiles de las temperaturas de enfriamiento B y C del cambiador de placas? Explique por qué.
3. ¿Cuál es la razón de que los valores de las diferencias de temperaturas ($t_1' - t_2'$) vs. W_f del segundo arreglo construido en la gráfica 3, sea negativo?
4. ¿Cómo afectan los valores negativos de las diferencias de temperaturas ($T_1' - T_2'$) a la corriente de proceso en el cambiador de coraza y tubos del segundo arreglo?
5. ¿Qué característica es la que distingue a un cambiador de otro de acuerdo con la gráfica 3?
6. ¿Cómo es la magnitud de esta característica cuando se compara la del cambiador de placas contra la del cambiador de coraza y tubos?
7. Especifique las variables de diseño que definen a esta característica distintiva al comparar los perfiles de temperatura C y D.
8. Considerando las variables de la característica distintiva entre los cambiadores explique qué contribución tiene el cambiador de coraza y tubos en el Arreglo 1 y en el Arreglo 2.
9. ¿Se necesita experimentar por separado los cambiadores de calor? Explique por qué.
10. Con base en el análisis que se ha desarrollado, ¿podría concluir que en cualquier arreglo de cambiadores de calor (serie o paralelo) obtendría los mismos resultados? Explique por qué.
11. ¿Cuál es el menor flujo de agua de enfriamiento en L/h para enfriar de 50 a 28°C una corriente de proceso de 100 L/h utilizando como medio de enfriamiento agua a temperatura ambiente?

**Material necesario
para la
experimentación**

1. 5 mangueras de hule del módulo de transferencia de calor Pignat
2. Llave de seguridad del módulo de transferencia de calor Pignat

3. MICROESCALA

SOBRE EL ARCOÍRIS¹

DETERMINACIÓN DE DENSIDADES

INTRODUCCIÓN

Sabemos que ciertas sustancias son más pesadas que otras, aún cuando sus volúmenes sean iguales. Por ejemplo, un trozo de madera es mucho más ligero que una pieza de plomo que tiene el mismo volumen.

Una propiedad de la materia es que en un volumen dado de distintas sustancias se pueden tener diferentes masas para cada una de ellas; esta propiedad es la *densidad*.

La densidad es siempre la misma a una **temperatura dada**, por ello esta propiedad permite distinguir e identificar sustancias, o bien, determinar si una sustancia es pura.

La densidad tiene unidades de masa/volumen y siempre que se exprese la densidad de una sustancia deben estar presentes las unidades de masa y volumen. Las unidades de densidad, que por lo general se utilizan para sólidos y líquidos, son g/mL y las más comunes para los gases son g/L.

La densidad es una propiedad de la materia de gran importancia para la vida en el planeta. Consideremos, por ejemplo, los cambios de temperatura en el agua de un lago en un clima frío. A medida que la temperatura del agua cerca de la superficie disminuye, aumenta su densidad. Así, el agua más fría se sumerge hacia el fondo mientras que el agua caliente, que es menos densa, sube hacia la parte superior. Este movimiento normal de convección continúa hasta que la temperatura global del agua llega a 4°C. Debajo de esta temperatura, la densidad del agua empieza a disminuir al descender la temperatura, de tal forma que ya no se asienta. Con un enfriamiento mayor, el agua comienza a congelarse en la superficie.

¹ Del *Manual de Prácticas de QGI*. Elizabeth Nieto, Carmen Sansón, Pilar Montagut, Myrna Carrillo, Rosa María González.

La capa de hielo formada no se sumerge porque es menos densa que el líquido; más aún, actúa como un aislante térmico para el agua que queda debajo. Si el hielo fuera más denso, se iría al fondo del lago cada vez que el agua se congelara en la superficie. La mayoría de los organismos vivos que existen en el interior del agua no sobrevivirían.

Afortunadamente esto no ocurre, y es esta propiedad excepcional del agua la que hace posible que vivan los peces en los lagos helados.

A continuación te presentamos un problema para resolver en equipo, es decir, requieres de los datos de tus compañeros para tener la información completa y llegar al resultado final. Esto se conoce en educación como *aprendizaje cooperativo*.

TAREAS A CUBRIR

- Determinar las densidades de cinco disoluciones con diferente concentración.
- Comparar los resultados de densidad calculados con las densidades relativas observadas.
- Aplicar el concepto de densidad para identificar una muestra desconocida.

REFLEXIONES INICIALES

1. Tienes dos cubos de aluminio, el cubo A de 1 cm de lado y el cubo B de 2 cm de lado. Se puede afirmar que:
 - a) La masa de A es la mitad de la masa de B, pero sus densidades son iguales.
 - b) La masa de B es 8 veces la de A y la densidad de B es 8 veces la de A.
 - c) La masa de B es 8 veces la de A y las densidades de ambos son iguales.
 - d) La masa de B es el triple que la de A y las densidades son iguales.

2. Un globo inflado ocupa un volumen de 1000 cm^3 y tiene una masa de 1 g. El globo es liberado en el aire cuya densidad es 0.011 g/cm^3 . Luego el globo:
- Se elevará.
 - Caerá.
 - No se moverá.

PROBLEMA

Se te entregan tres disoluciones, cada una de un color, que tienen diferentes densidades. Al formar una columna con volúmenes iguales de cada una:

¿Cuál quedará en la parte superior y cuál en la parte inferior?
¿La que posee mayor o menor densidad?

¿Se podría determinar la densidad relativa de cada disolución?
¿Qué método usarías? ¿Coinciden los valores obtenidos con el orden observado en la columna de colores?

ANTES DE INICIAR EL TRABAJO EXPERIMENTAL:

- En un diagrama de flujo establece cómo vas a realizar las pruebas para resolver el misterio.
- Revisa cuidadosamente los pasos que vas a seguir y registra en el cuaderno de laboratorio todas tus observaciones.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

Forma en una probeta una columna de diferentes colores, utilizando las disoluciones de cloruro de sodio que se te entregarán. Determina la densidad de cada una de las disoluciones que forman la columna.

Materiales	Reactivos
5 frascos de 200 mL aproximadamente (como los usados para alimentos infantiles o mermeladas)	Cinco disoluciones de cloruro de sodio de diferente concentración, teñidas con colorantes vegetales
balanza digital (precisión de 0.001 g) probetas de 10 mL matraz aforado de 10 mL pipeta de 5 mL o de 10 mL pipetas Beral	



No inicies ninguna manipulación si no te queda claro el procedimiento.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Forma un equipo de dos o tres compañeros. El profesor te indicará cuáles son las cinco disoluciones coloreadas que vas a utilizar.
2. Vierte en una probeta 10 mL de cada una de las disoluciones coloridas.

Para ello, agrega lentamente y utilizando una pipeta, una de las disoluciones manteniendo la probeta inclinada. Sigue el mismo procedimiento con las otras disoluciones, procurando que no se mezclen las capas formadas.

3. Registra el orden de las capas y compara con el que obtuvieron los otros equipos.

¿Qué color corresponde a la disolución menos densa? ¿Qué posición ocupa?

4. Con tus compañeros, verifica el orden en que se fueron acomodando las capas.
5. A continuación debes determinar la densidad de las disoluciones que utilizaste.

¿Qué procedimiento vas a seguir? (**Revisa la lista de materiales**)

Acuerda con tu equipo sobre cuál consideran más adecuado y descríbanlo, indicando el material que utilizarán.

6. Intercambia los datos obtenidos por tus compañeros con los otros equipos para que juntos infieran el orden que deben tener las cinco disoluciones en la probeta.

¿Los resultados obtenidos coinciden con el orden de las capas observado?

¿Cuál sería el orden de colocación correcto de las cinco disoluciones?

7. Compara los resultados calculados con los de otros compañeros. ¿Hay discrepancia?

¿Qué procedimiento fue el más adecuado para obtener los resultados más precisos?

¿Cuáles fueron las posibles fuentes de error? ¿Cuál es el número correcto de cifras significativas que se deben usar?

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos completa el siguiente cuadro.

Color de la disolución	Densidad de la disolución
1	
2	
3	
4	
5	

MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

Debido a que las disoluciones son de cloruro de sodio, no contaminan y se pueden eliminar por la tarja.

UN RETO MÁS

- Se te entregará un vial cerrado lleno con una disolución desconocida y otro vacío. Determina la concentración de la disolución desconocida.
- Describe el procedimiento empleado.
- Anota todos los cálculos realizados para obtener el valor final.
- Explica cuáles son las posibles fuentes de error que consideras repercuten en el resultado final.

REFLEXIÓN FINAL

Diálogo en el laboratorio

- Gabriel:** ¿Te puedo preguntar algo? ¿Cómo se diluye con agua un ácido?
- Carlos:** *La regla es: “no dar de beber al ácido”. Es decir vierte el ácido lentamente sobre el agua.*
- Gabriel:** ¿Por qué?
- Carlos :** *¿Cómo que por qué? Siempre el profesor así lo ha dicho.*
- Gabriel:** *Debe haber alguna explicación. ¿Qué es más denso, el ácido sulfúrico o el agua?*
- Carlos:** *El ácido, su densidad es casi el doble de la del agua.*
- Gabriel:** *Luego si viertes el agua sobre el ácido, ¿flota o se hunde?*
- Carlos:** *Por supuesto que queda arriba.*
- Gabriel:** *Y al empezar a mezclarse...*
- Carlos:** *¡Se genera en la superficie muchísimo calor, parte del ácido puede llegar a la ebullición y salpicarnos!*
- Gabriel:** *Bien, y si vertemos el ácido en el agua ...*
- Carlos:** *El ácido se va al fondo, a través del agua, generando calor en todo el líquido, no únicamente en la superficie. Y así no salpicará.*
- Gabriel:** *Exacto. Y aunque estamos de acuerdo en que se genera la misma cantidad de calor ¡cuidado! con el orden al mezclar.*
- Carlos:** *Ya entendí el porqué de la regla. No debo olvidar que es cuestión de densidades.*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Stein, M., Miller, D. (1998) "Density Explorations". *The Science Teacher*. Vol. 65, No. 2.

Todd, D. (1993) "Acid and Water. A Socratic Dialogue" *J. of Chem. Ed*, Vol. 70, No.12, p 1022.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

Hill, J., Kolb, D. (1999) *Química para el nuevo milenio*. Pearson Educación, 8ª ed., México.

Moore, J., Stanitski, C., Wood, J., Kotz, J. (2000) *El mundo de la Química. Conceptos y aplicaciones*. Pearson Educación, 2ª ed., México.

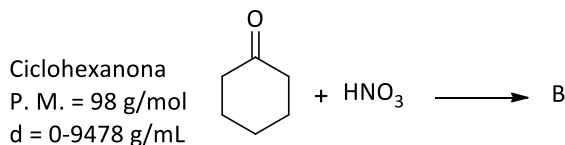
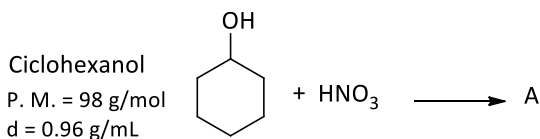
4. SEGURIDAD DE RESIDUOS

Ejemplo: SÍNTESIS DE ÁCIDOS CARBOXÍLICOS POR OXIDACIÓN DE DIFERENTES PRODUCTOS

OBJETIVOS
ACADÉMICOS:

- Sintetizar ácido adípico por oxidación del ciclohexanol o de la ciclohexanona
- Estudiar el efecto de la cantidad de HNO₃ concentrado con respecto a la materia prima.

REACCIÓN A
EFECTUAR:



Procedimiento Secuencial	OBSERVACIONES
	Transformación química o física que ocurre Datos numéricos y esquemas
1	Celda de acrílico transparente con 2 recámaras
2	Misceláneo: cepillo, agitador de madera o férula, 6 x 1/8-in, popote de plástico de 6 x 1/4-in, pinza de madera para la ropa para tomar los tubos de ensayo, recipiente de plástico cuadrado, tapones de hule # 00
3	Botella de boca ancha con tapón bihoradado, gotero, tubos de hule
4	Dispositivos para la obtención de gases: Dos tubos de ensayo, Tapones de hule # 00 para conectar cada uno a un tubo doblado en forma de J y a otro doblado en forma de S. Dos anillos de hule, los tubos para apoyar a los tubos de ensayo. Un alfiler en T para destapar a los tubos antes de usarlos
5	Cuadro de asbesto con una corcholata
6	Dispositivo de calentamiento. Lámpara de alcohol o una vela
7 y 8	Unidad de electrólisis
9	Jeringa de 5 mL

*Nota: usar guantes durante toda la práctica, leer cuidadosamente las hojas de seguridad, ya que se manejan productos corrosivos y sumamente oxidantes.

Procedimiento Secuencial	OBSERVACIONES Transformación química o física que ocurre Datos numéricos y esquemas
1. En matraz esférico de 50 mL de fondo plano, de dos bocas con juntas esmeriladas, coloque un agitador magnético, adicione con un embudo 1, 2, 3, 4, 5 ó 6 mL de ácido nítrico concentrado a través de un embudo de adición, de acuerdo con el plan de trabajo proporcionado. En la otra boca adapte un refrigerante en posición de reflujo y coloque un tubo de desprendimiento hacia una trampa con Ca(OH) ₂ ó NaOH diluida (ver Figura 1).	
2. Coloque el matraz en un baño María, mantenga la temperatura del baño entre 55-60°C en una parrilla con agitación magnética.	
3. A través del embudo de adición adicione 1 gota de ciclohexanol o de la ciclohexanona cada 30 segundos ó cada minuto (de acuerdo con la elevación de la temperatura, no debe pasar de 60°C), hasta adicionar 1 mL en total.	
4. Es necesario controlar la temperatura ya que la reacción es muy exotérmica.	
5. Mantenga la temperatura del baño en 55-60°C por 30 minutos adicionales.	
6. Después eleve la temperatura gradualmente hasta 92°C en un periodo de 10 minutos y mantenga esa temperatura por media hora más.	
7. Deje enfriar a temperatura ambiente y vierta en un vaso de precipitados de 250 mL que contenga 10 gramos de hielo picado, hasta la aparición de cristales.	
8. Filtre los cristales al vacío y lave con 15 mL de agua helada (3 veces con 4 mL cada vez).	
9. Seque el producto, pésele y calcule el porcentaje de rendimiento del producto crudo. Determine el punto de fusión y elabore una cromatografía en capa fina, utilizando como referencia una sustancia estándar (ácido hexanodioico), para determinar la pureza del producto obtenido.	
10. Reúna el filtrado del paso 8 y las aguas de lavado, neutralícelas y si no contiene materia prima orgánica deséchela al drenaje. El nitrato de sodio se puede eliminar por el drenaje. Si no es el caso, trátelo con carbón activado; el carbón activado contaminado envíelo a incineración.	

**Nota: usar guantes durante toda la práctica, leer cuidadosamente las hojas de seguridad, ya que se manejan productos corrosivos y sumamente oxidantes.*

Montaje del aparato:

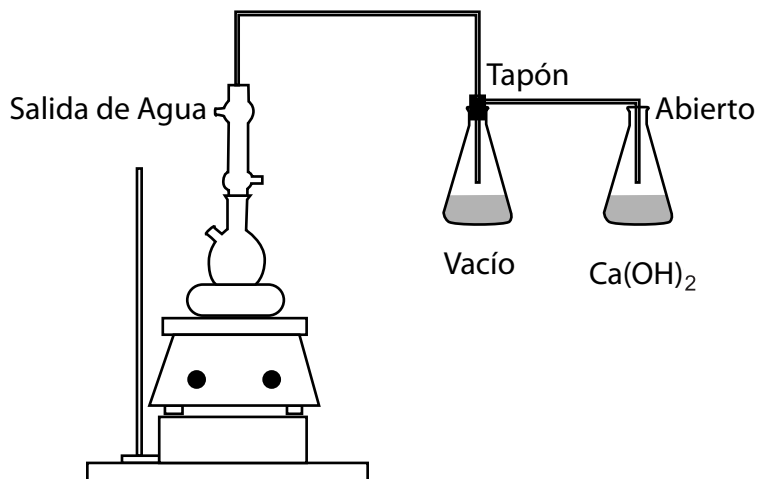


Figura 1

Registro de resultados obtenidos:






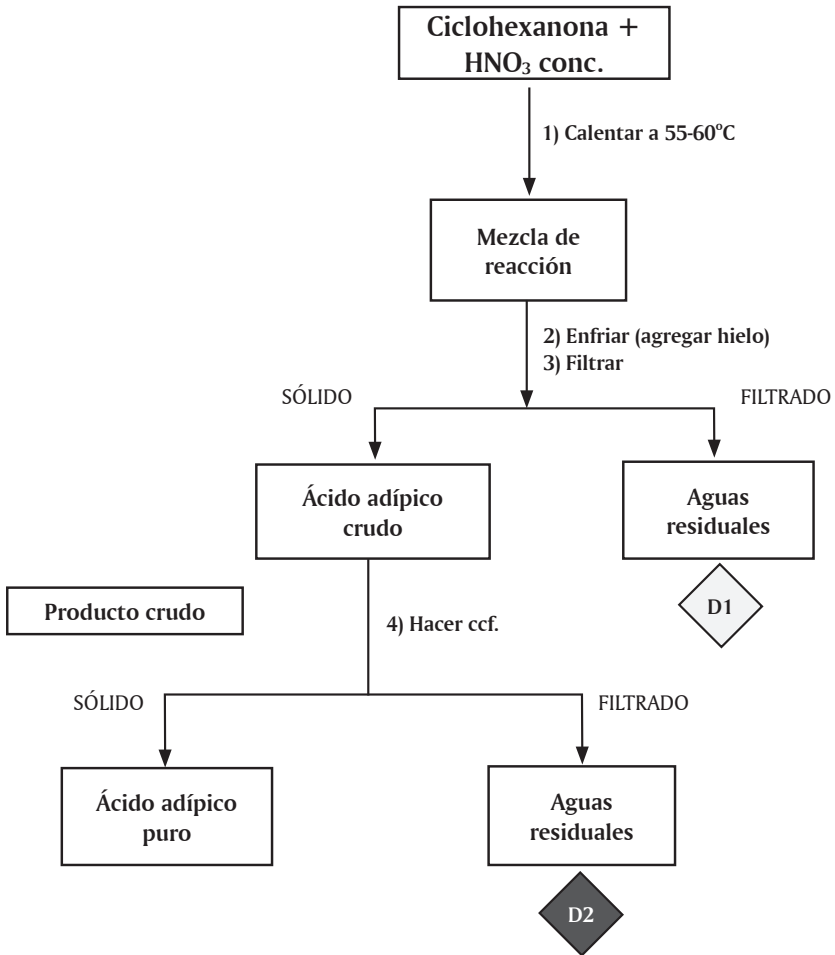
Materia prima, fórmula, pf./peb.	Condiciones	Producto ++ obtenido (fórmula)	Pf./peb. (teórico) °C	Pf./peb. (práctico) °C	Rendimiento (%)	Observaciones
	Ciclohexanona + HNO ₃ (1:1)					
	Ciclohexanona + HNO ₃ (1:2)					
	Ciclohexanona + HNO ₃ (1:3)					
	Ciclohexanona + HNO ₃ (1:4)					
	Ciclohexanona + HNO ₃ (1:5)					

DIAGRAMA ECOLÓGICO DE LA OXIDACIÓN

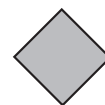


D1: Neutralizar la solución, verificar que no hay materia orgánica y desechar al drenaje. En caso contrario tratar con carbón activado y el carbón contaminado se envía a incineración.

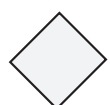
D2: Concentre la solución, si precipita más producto filtrelo, y adicione carbón activado, agite, caliente y vuelva a filtrar. El carbón activado con materia orgánica enviarlo a incineración. Destile el disolvente del filtrado para recuperarlo, no debe haber residuo, si lo hay envíelo a incineración.



Reusar



Incinerar



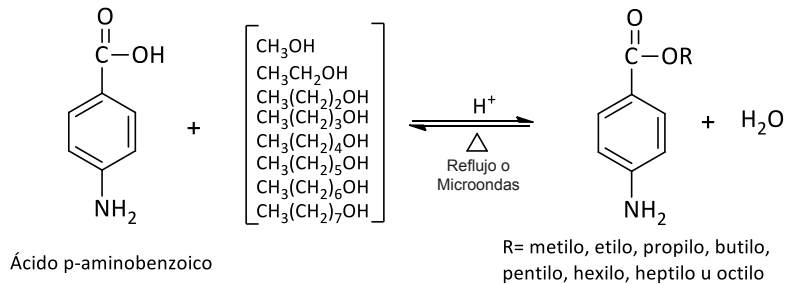
Tratar

OBTENCIÓN DE ÉSTERES DEL ÁCIDO P-AMINOENZOICO

OBJETIVOS ACADÉMICOS

- Determinar el efecto de estructura-reactividad de diferentes alcoholes en la reacción de esterificación.
- Determinar el efecto de utilizar diferentes fuentes de energía (reflujo vs. microondas) en la formación de los ésteres.

REACCIÓN A EFECTUAR:



Procedimiento Secuencial (Reflujo, escala semimicro)	Observaciones Transformación química o física que ocurre Datos numéricos y esquemas
1. En un matraz bola de 50 mL con junta esmerilada, coloque a través de un embudo de adición de sólidos, 2.5 g de ácido p-aminobenzoico.	
2. Adicione 10 mL (metanol, etanol al 95%, 1-propanol, 1-butanol, 1-pentanol, 1-hexanol, 1-heptanol y 1-octanol), agite cuidadosamente y disuelva el sólido.	
3. Coloque el matraz sobre hielo-agua y adicione lentamente, con estricta precaución 2.5 mL de ácido sulfúrico concentrado*. (Utilice guantes de material adecuado ya que es un producto oxidante y corrosivo).	
4. Coloque un refrigerante en posición de reflujo y caliente por 2 h a la temperatura de ebullición del alcohol metílico (65°C).	
5. Enfríe la mezcla de reacción a temperatura ambiente.	
6. Transvase el contenido a un vaso de precipitado de 250 mL y enfríe exteriormente en hielo-agua.	
7. Adicione lentamente una solución saturada de carbonato de sodio <u>cuidando que no se derrame la mezcla de reacción por la espuma que genera el desprendimiento de CO₂</u> , agitando continuamente hasta pH=9, deje reposar y vuelva a tomarlo, debe permanecer en 9.	
8. Saque el vaso del hielo y deje que alcance la temperatura ambiente.	
9. Adicione 20 g de hielo a la mezcla de reacción.	
10. Agite vigorosamente y coloque el producto sobre hielo-agua.	
11. Filtre al vacío el sólido obtenido y lave con agua helada (3 mL cada vez) hasta pH=7; y seque el producto sólido.	
12. Pese el producto crudo bien seco y determine el rendimiento. Determine el punto de fusión y realice una cromatografía en capa fina para verificar la pureza, usando como referencia la materia prima.	
13. De ser necesario recrystalice el producto crudo, con el disolvente o mezcla de disolventes adecuados.	
14. Seque y pese el producto puro y calcule el rendimiento, determine el punto de fusión** y realice una cromatografía en capa fina comparativa con el producto crudo y la materia prima.	
15. Neutralice el filtrado y las aguas de lavado del paso 11, si precipita un sólido, fíltrelo y determine si se puede reutilizar o se debe purificar. La solución acuosa trátela con carbón activado, filtre el carbón activado y mande a incinerar; la solución residual tírela al drenaje si no tiene materia orgánica.	

* Leer cuidadosamente la hoja de seguridad, ya que es un producto muy peligroso.

** Consulte el punto de fusión descrito en la literatura.

<p style="text-align: center;">Procedimiento Secuencial (Microondas, escala semimicro)</p>	<p style="text-align: center;">OBSERVACIONES Transformación química o física que ocurre Datos numéricos y esquemas</p>
1. En un matraz bola de 50 mL con junta esmerilada coloque a través de un embudo de adición de sólidos 2.5 g de ácido p-aminobenzoico.	
2. Adicione 10 mL (metanol, etanol al 95%, 1-propanol, 1-butanol, 1-pentanol, 1-hexanol, 1-heptanol y 1-octanol) agite cuidadosamente hasta que se disuelva el sólido.	
3. Coloque el matraz sobre hielo-agua y adicione lentamente 2.5 mL de ácido sulfúrico concentrado, utilizando un embudo y guantes de material adecuado ya que el producto (H ₂ SO ₄) es oxidante y corrosivo*.	
4. Coloque el matraz de reacción en un horno de microondas**, adaptado con un refrigerante largo, por 2 minutos, proporcionando energía de 20 segundos en 20 segundos hasta completar 2 minutos.	
5. Enfríe la mezcla de reacción a temperatura ambiente.	
6. Transvase el contenido a un vaso de precipitado de 250 mL. Enfríe en hielo la mezcla de reacción.	
7. Adicione lentamente una solución saturada de carbonato de sodio para neutralizar el ácido sulfúrico, <u>cuidando que la reacción no se derrame</u> por la espuma que genera el desprendimiento de CO ₂ , agite continuamente y verifique el pH=9, deje reposar y vuelva a medir el pH que permanezca en 9.	
8. Deje que la mezcla llegue a temperatura ambiente.	
9. Adicione poco a poco 20 g de hielo-agua (1:1).	
10. Agite vigorosamente y coloque el matraz que contiene el producto sobre hielo.	
11. Filtre con vacío el sólido obtenido y lávelo con agua helada (3 mL cada vez) hasta pH=7.	
12. Pese el producto crudo cuando esté bien seco y determine el rendimiento.	
13. De ser necesario recristalice el producto crudo con el disolvente o mezcla de disolventes adecuados.	
14. <u>Seque</u> el producto puro, péselo, calcule el rendimiento y determine el punto de fusión***.	
15. Neutralice el filtrado y las aguas de lavado generadas en el paso 11, si precipita un sólido, fíltrelo y vea si se puede reutilizar y trate el filtrado con carbón activado, filtre el carbón activado, séquelo y envíelo a incineración; las aguas residuales tírelas al drenaje después de verificar que no contengan materia orgánica.	

*Leer cuidadosamente la hoja de seguridad, ya que es un producto muy peligroso.

** Un horno de microondas tradicional.

*** Consulte el punto de fusión descrito en la literatura para cada producto.

REGISTRO DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Resultados de esterificación de ácidos carboxílicos a reflujo y a la temperatura de ebullición de cada alcohol.

Ésteres correspondientes obtenidos	Rendimiento semimicro® (reflujo) (%)	Tiempo (horas)	Rendimiento en microondas (%)	Tiempo (segundos)
p-aminobenzoato de metilo		2.0		120
p-aminobenzoato de etilo		2.0		120
p-aminobenzoato de propilo		2.0		120
p-aminobenzoato de butilo		2.0		120
p-aminobenzoato de pentilo		2.0		120
p-aminobenzoato de hexilo		2.0		120
p-aminobenzoato de heptilo		2.0		120
p-aminobenzoato de octilo		2.0		120

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahams, I. y Millar, R. (2008) “Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science”. *International Journal of Science Education*, 30 (14).
- Aguirre Molinuevo, A.M., Astorga, M. y Ortega Sánchez, M. (1984) “Proposición de un curso experimental integrado: Histórica, Metodológica y Conceptualmente”. *Revista Marcha. Órgano Informativo del Colegio Académico de la FES-C*, No. 10.
- Arkansas (1988) *Guide for Small Quantity Generator of Hazardous Waste*; Department of Pollution Control and Ecology: Little Rock, AR
- Alcaraz Cienfuegos, J., Hernández Luna, M. (2001) “Balance de material con reacción química en un reactor intermitente para el sistema anhídrido acético-agua”. 20° Congreso Nacional de Educación Química. Ixtapa, Guerrero, México.
- Allal, L., Cardinet, J., y Perrenoud, P. (1979) *L'évaluation formative dans un enseignement différencié*. Berne: Lang, pp. 142-143. Disponible en línea en <http://wiki.univ-paris5.fr/wiki/Évaluation> [Acceso el 15 de marzo de 2013].
- Armour, M. (2003) *Hazardous Laboratory Chemicals Disposal Guide*; Lewis Publishers: USA.
- Arnaiz, F., Pike, R. (1999) “Microescala en los laboratorios de Química. Una revolución imparables”. *Anales de la Real Sociedad Española de la Química*, 45-51.
- Ausubel, D.P. (1976) *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Barbera, O., y Valdés, P. (1996) “El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión”. *Enseñanza de las ciencias*, 14, pp. 365-379.
- Baristain, F., Casas, N., Minutti, J., González, J.L., Janovitz, A., Sánchez, A. y Soto, G., (1982) “Sistema de enseñanza-aprendizaje en la carrera de ingeniería en alimentos”. *Foro Universitario*, No. 14.
- Berg, C.A.R., Bergendahl, C.B., y Lundberg, B.K.S. (2003) “Benefiting from an open-ended experiment? A comparison of attitudes to, and outcomes of, an expository versus an open-inquiry version of

- the same experiment”. *International Journal of Science Education*, 25, pp. 351-372.
- Bruner, J. (1966) Chapter 8th: “Knowing as doing”. *The Culture of Education*. Cambridge, Mass, USA: Harvard University Press.
- Bunge, M. (1995) *La ciencia, su método y su filosofía*. México: Grupo Patria Cultural.
- Caamaño, A. (2003) “Los trabajos prácticos en ciencias”, en Jiménez Aleixandre, M.P. (coord.) *Enseñar ciencias*, Barcelona, Grao.
- Caamaño, A., (2002) “¿Cómo transformar los trabajos prácticos tradicionales en trabajos prácticos investigativos?”. *Aula de innovación educativa*, 113-114, pp. 21-26.
- Caamaño, A., (2004) “Experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones. ¿Una clasificación útil para los trabajos prácticos?”. *Alambique*, 39, pp. 8-19.
- Campanario, J.M. y Moya, A. (1999) “Cómo enseñar ciencias. Principales tendencias y propuestas”. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.
- Carrillo, González, Hernández, Montagut, Nieto, Sandoval, Sansón (2000) *Microescala I, Laboratorio*. Serie Química General. México: Facultad de Química, UNAM.
- Carrillo, González, Hernández, Montagut, Nieto, Sandoval, Sansón. (2001) *Química General. Manual de Microescala*. Cuarta Edición. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Cerruti, L. (1998) “Chemicals as Instruments”, *Hyle*, 4, pp. 39-61.
- Chamizo, J.A. (1996). “Evaluación de los aprendizajes en química. Segunda Parte: Registro de aprendizaje, asociación de palabras y portafolios”. *Educación Química*, 7, 86-89.
- Chamizo, J.A. (2002) *Química mexicana*, CONACULTA, México.
- Chamizo, J.A. (compilador) (2004) *Antología de la Enseñanza Experimental*. México, UNAM.
- Chamizo, J.A. (2007a) “Teaching modern chemistry through ‘recurrent historical teaching models’”. *Science & Education*, 16, 197-216.
- Chamizo, J.A. (2007b) “Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias”. *Enseñanza de las ciencias*, 25, 133-146.

- Chamizo, J.A. (2009) “Los diagramas heurísticos en la enseñanza de la historia de la química” en Monroy, Z. y León-Sánchez, R. (eds) *Epistemología, psicología y enseñanza de la ciencia*, México: Facultad de Psicología-UNAM.
- Chamizo, J.A. (2009a) “Filosofía de la Química: I. Sobre el método y los Modelos”. *Educación Química*, 20, 6-11.
- Chamizo, J.A. (2010b) *Introducción a la historia experimental de la química*, México: FQ-UNAM.
- Chamizo, J.A. (2011) “Heuristic diagrams as a tool to teach history of chemistry”, *Science&Education*, published online 23th august.
- Chamizo, J.A. (2013a) “The Chemical Experiment” in Llored, J.P. (ed). *The Philosophy of Chemistry*, Cambridge Scholars, Cambridge.
- Chamizo, J.A. and García-Franco (2013) “Heuristic Diagrams as a tool to formatively assess teachers’ research, *Teachers and Teaching. Research and Practice*, 19, 135-149.
- Chamizo, J.A. e Izquierdo, M., (2007) “Evaluación de las competencias de pensamiento científico”, *Alambique*, 51, 9-19.
- Chamizo, J.A., Hernández G., (2000) “Construcción de preguntas, la Ve epistemológica y examen ecléctico individualizado”. *Educación Química*, 11, 132-137.
- Champagne, A. y Kouba, V. (2000) “Writing to inquire: Written products as performance measures”, en J. Mintzes, J. Wandersee, y J. Novak (Eds.) *Assessing Science Understanding* (pp. 19-36), Burlington, MA: Elsevier.
- Colsa, M.E. and Chamizo, J.A. (2009) Heuristic diagrams as a tool to assess experimental work, *ESERA*, Malmo.
- Cooper, M. y Kerns, T. (2006) “The effect of the laboratory course on student’s achievements and perceptions: qualitative and quantitative aspects”. *Chemical Education*, 83, 1356.
- Cooper, M. (2009) *Cooperative Chemistry Laboratory Manual*, McGraw Hill.
- Corominas, J. y Lozano, T. (1994) Trabajos Prácticos para la construcción de conceptos: Experiencias y experimentos ilustrativos. *Alambique*, 2, 21-26.

- Crosland, M. (2005) "Early Laboratories c1600-c1800 and the location of experimental science". *Annals of Science*, 62, 233-253.
- De Gortari, E. (1978) *El método de las ciencias*. México: Grijalbo.
- Del Carmen, L. (2000) "Los trabajos Prácticos". *Didáctica de las Ciencias experimentales*. pp. 267-288.
- Díaz Barriga, F. (2006) *Enseñanza situada, vínculo entre la escuela y la vida*, México: McGraw Hill.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1989) *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: Morata.
- Duschl, R.A. (1994) "Research in the history and philosophy of science", en D.L Gabel (ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York: Macmillan.
- Edmonson, K.M. (2000) "Assessing Science understanding through concept maps". En J. Mintzes, J. Wandersee, y J. Novak (Eds.) *Assesing science understanding* (pp. 224-246). Burlington, MA: Elsevier.
- Espinosa-Bueno, J. S., Garritz, A., Labastida-Piña, D.V. y Padilla, K. (2010) Indagación. "Las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. Parte II. El cuestionario y su aplicación" (Editorial). *Educación Química*, 21[3], 190-198.
- Espinosa-Bueno, J. S., Labastida-Piña, D. V., Padilla, K. y Garritz, A. (2011) "Pedagogical Content Knowledge of Inquiry: An Instrument to Assess It and Its Application to High School In-Service Science Teachers", in the press for March 2011 US-China Education Review.
- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (2007). *Manual de Laboratorio Único de Ingeniería en Alimentos. Plan de Estudios 2004*. México: FES-C.
- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (2010). *Identificación de la Asignatura Laboratorio de Ciencia Básica I*. México: FES-C (versión mimeográfica).
- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (2010). *Manual del Laboratorio de Ciencias Experimentales 2*. México: FES-C (versión mimeográfica).
- Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (1991). Sección de Ciencia Básica *Introducción a la Organización Académica del Laboratorio de Ciencia Básica I e Introducción a la Organización Académica del Laboratorio de Ciencia Básica II*. Revisión de Ana María Aguirre

- Molinuevo. Edición a cargo de Marcela Astorga y Roberto Andrade. México: FES-C (versión mimeográfica).
- Faure, E. et al. (1973) *Aprender a ser*. Madrid: Alianza Editorial.
- Freemantle, M. (2003) *Chemistry at its most beautiful*, *C&ENews*, 81(34), 27-30.
- Gallego, A. (2007) “Ciencia, historia, epistemología y didáctica de las ciencias: las comunidades de especialistas”, *Tecné, Episteme y Didaxis*, 22, 113-125.
- García, H. (1985) *Historia de una Facultad*. Facultad de Química, Instituto de Investigaciones. Históricas de la Universidad Nacional Autónoma de México, 19 y 47.
- Garritz, A. (2010) “Indagación: Las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje”, *Educación Química*, 21[2], 106-110.
- Geli, A.M., (1995) “La evaluación de los trabajos prácticos” *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 4, 25-32.
- Giere, R. (1988) *Explaining Science. A cognitive approach*, Chicago, University of Chicago Press.
- Gil, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez-Torregrosa, J., Guisáosla, J., González, E., Dumas-Carre, A., Goffard, M. y Pessoa, A. (1999) “¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?” *Enseñanza de las ciencias*, 17, 311-319.
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. y Martínez-Torregrosa, J., (1991) *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, Horsori: Barcelona.
- Gil, D., Martínez, T. (2005) “¿Para qué y cómo evaluar?: La evaluación como instrumento de regulación y mejora del proceso de enseñanza/aprendizaje”, en Gil, D., Macedo, B., Martínez, J., Sifredo, C., Valdez, P., Vilches, A. (Eds). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica?: una propuesta didáctica fundamentada* (pp. 159-182). Santiago de Chile: Oficina regional de educación para América Latina y el Caribe OREALC/UNESCO.
- Giral, F. (1969) *Enseñanza de la Química Experimental*, Monografías 6. Organización de Estados Americanos, Washington.

- Gómez, M.R. y Sanmartí, N. (1996) “La didáctica de las ciencias: una necesidad” en *Educación Química*, 7 (3), pp. 156-168.
- González, J.L. y Janovitz, A. (1982) “Hacia una evaluación integral del proceso de enseñanza- aprendizaje”. *Revista Marcha. Órgano Informativo del Colegio Académico de la FES-C*, No. 9.
- Green Chemistry Teaching Materials Report (2000) *J Chem Ed*, Vol. 77, No. 12, 2000, pp. 1546-1547.
- Grenbowe, T. y Hand, B. (2005) “Introduction to the Science Writing Heuristic”, en N. Pienta, M. Cooper y T. Greenbowe (Eds.) *Chemists' guide to effective teaching*. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.
- Hall, N. (2000) *The new Chemistry*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Harré, R. (2004) *Modelling: Gateway to the unknown*, Amsterdam, Elsevier.
- Hernández Luna, M., Llano Lomas, M. (1994) *Propuesta de Reforma de la Enseñanza Experimental. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos*, vol. 5, 5-7, México.
- Herron, D. (1971) “The nature of scientific enquiry”, *School Science Review*, 79, pp. 171 y 172.
- Hodson, D. (1992) “In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education” *International Journal of Science Education*, 14(5), pp. 541-566.
- Hodson, D. (1992) “Assessment of practical work: some considerations in philosophy of science”. *Science and Education*, 1, pp. 115-144.
- Hodson, D. (1994) Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 47-56, 299-313
- Hodson, D. (2005) “Towards Research-Based Practice in the Teaching Laboratory”. Una reseña del libro *Teaching and learning in the science laboratory*, editado por Dimitris Psillos & Hans Niedderer, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Publicada en 2005 en *Studies in Science Education*, 41(1), pp. 167-177.
- Hofstein, A. (2005) “Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories”. *Journal of Research in Science teaching*. 42 (7), pp. 791-806.

- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005) "Developing Students' Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry-Type Chemistry Laboratories". *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 7, pp. 791-806.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. (2005) "The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century". *Science Education*, 88, pp. 28-54.
- Hofstein, Avi. (2007) "The laboratory in science education: the state of the art Chemistry Education Research and Practice". Published quarterly by *The Royal Society of Chemistry*, Vol. 8, Núm. 2, pp. 105- 110.
- Hurtado de Mendoza, T.C. (1977) Tesis de licenciatura *Proposición para un nuevo enfoque del trabajo experimental de los dos primeros semestres de las carreras del área de Química en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Cuautitlán*. México: UNAM pp.7-11.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999) "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), pp. 45-59.
- Janovitz, A. y González, J.L. (1984) "La enseñanza Inter y Multidisciplinaria en los LCB III y IV" *Revista Marcha. Órgano Informativo del Colegio Académico de la FES-C*, No. 10.
- Justi, R. (2000) "Teaching with Historical Models", en J.K. Gilbert y C.J. Boutler *Developing Models in Science Education*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Justi, R. y Gilbert, J. (2002). Models and Modeling in Chemical Education", en *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Dordrecht Kluwer.
- Kind, V. (2004) *Más allá de las apariencias*. Facultad de Química-Santillana, México.
- Kirchhoff, M. (2001) "Topics in Green Chemistry" en *J Chem Ed.*, Vol. 78, No. 12, pp. 1577.
- Kirshner, P. y Meester, M. (1988) "Laboratory approaches". *Higher Education*, 17, pp. 81-98.
- Kolluru, R.V. (1994) *Environmental Strategies Handbook: A guide to efficientive policies & practices*, Mc. Graw Hill Inc.

- Kosik, K. (1967) *La dialéctica de lo concreto*. México: Editorial Grijalbo Colección Teoría y Práctica.
- Kosik, K (1979). *Dialéctica de lo concreto*. México-Buenos Aires: Editorial Grijalbo, 5ª reimpresión.
- Lagowski, J.J. (1990) "Entry-level science courses: the weak link". *Journal of Chemical Education*, 67, 541.
- Lakatos, I. (1978) *Mathematics, Science and Epistemology: Philosophical Papers*. Volume 2. Cambridge: Cambridge University Press.
- Leach, J. y Paulsen, A. C. (Eds.) (1999) *Practical Work in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Lewis, J. (2002) "The Effectiveness of Mini-Projects as a Preparation for Open-ended Investigations" in Psillos, D. and Niedderer, K. (eds), *Teaching and learning in the science laboratory*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Llano Lomas, M. y Müller Carrera, G. (1998) *Reforma de la Enseñanza Experimental. Guiones para el curso de laboratorio de Química General*. México: Facultad de Química, UNAM.
- Llano Lomas, M., Müller Carrera, G., Hernández Luna, M. (1998) "¿Se aprende en el laboratorio?". *Educación Química*, Vol. 9 (I), 30-33, México.
- Lunn, G.; Sansone E. (1990) *Destruction of Hazardous Chemicals in the Laboratory*. Wiley-Interscience Publication: USA
- Matthews, M.R. (1994) *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*, London, Routledge.
- McComas, W.F. (2000) *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Millar, R., Tiberghien, A. y Le Maréchal, J.F. (2002) Varieties of labwork: a way of profiling labwork tasks. En Psillos D. y H. Niedderer (eds), *Teaching and learning in the science laboratory*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Montagut, P., Nieto, E., Sansón, C. (2006) "Química Verde y Microescala: por un futuro mejor". *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*. No. 47, pp. 86-94.
- Nakhel, M.J., Polles y E. Molina. (2004). "Aprendiendo Química en un ambiente de Laboratorio", en *Antología de la Enseñanza Experimental*. Chamizo, J.A. (Compilador). México: Facultad de Química, UNAM. pp. 89-108.

- National Research Council (1996) *The National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press.
- National Research Council (2003) *Inquiry and the National Science Education Standards. A guide for teaching and learning*. Washington DC: National Academy Press.
- Navarro *et al.* (2003) *Enseñanza Experimental en Microescala en el bachillerato*. Colegio de Ciencias y Humanidades. Plantel Sur. 2ª edición.
- Nieda, J. y Macedo, B. (1998) *Un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años*. México, SEP (Biblioteca del Normalista).
- Nieto, E. *et al.* (2003) “Enseñanza Experimental en el bachillerato en el contexto de la Química Verde”. *Revista de Educación Química*. 14 [3] pp. 142-147.
- Novak, J.D., Gowin, D. (1984) *Aprendiendo a aprender*. MR Ediciones Martínez Roca. Ed. en español 2002. España
- Pérez Zambrano, A.G. (1997) Tesis de Licenciatura: *Panorama actual de la carrera de Ingeniería en Alimentos y su interrelación con los egresados y la industria*. FES-C.
- Piaget, J. (1983) *La psicología de la inteligencia*. Barcelona: Crítica.
- Pinto, R. (2002) “Understanding innovation in science teaching”. *New Perspectives for Learning. Briefing Paper 33*. The European Commission.
- Pitt, M. J., Pitt, E. (1987), *Handbook of Laboratory Waste Disposal*, John & Sons, New York
- Popper, K.P. (1962) *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Editorial Tecnos.
- Pottenger, F.M. III (1990) “The testing grading model of teaching contrasted with the FAST Model. Curriculum Research and development group: University of Hawaii”, en P.
- Prudent Practices (2011) for Disposal of Chemicals from Laboratory; National Academy Press: Washington, D.C., USA
- Química Orgánica; Experimentos con Enfoque Ecológico; (2009) Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial: UNAM: México.
- Tamir (1999) Self assessment: the use of self report knowledge and opportunity to learn inventories. *International Journal of Science Education*. 21(4), pp. 401-411.

- Pozo, J.I. y Gómez, M.A. (1998) *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, Morata.
- Psillos, D. y Niedderer, H. (Eds.) (2002) *Teaching and Learning in the Science Laboratory*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Quintana, H.E. (2004) “El portafolio como estrategia para evaluación” en M. Rovira (comp.) *Evaluación como ayuda para el aprendizaje* (pp. 163-173). Barcelona: Laboratorio Educativo-GRAÓ Serie: Claves para la Innovación Educativa. No. 4. Rodríguez, B.L., Gutiérrez, M.F.A. y Molledo, C.J. (1992) *Una propuesta integral de evaluación, Enseñanza de las Ciencias*, 10 (3), 254-267.
- Robles, C. (2008) *Aprendizaje Basado en la Solución de Problemas*, Tesis de Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS), Facultad de Química, México.
- Ruiz, L.B, Flores, R.H. y James, M.G. (1986) “Los cursos de Química Experimental Aplicada y Seminario en el currículum de la carrera de Química”. *Revista de la Sociedad Química de México*. 30 (1), 39.
- Russell, C.A. (1985) *Recent Developments in the History of Chemistry*, Royal Society of Chemistry, London.
- Rutherford, J. y Ahlgreen, A. [coord.] (1997). *Ciencia: conocimiento para todos, Proyecto 2061. American Association for the Advancement of Science*, Oxford University Press/Harla. México, SEP (Biblioteca del normalista).
- Sánchez, A., Hernández, M.E. y Valdez, R. (2001) “Situación actual y perspectivas de la educación en ciencias en la escuela secundaria”. *Educación 2001*, No. 69.
- Sanmartí, N. (2007) *10 ideas claves. Evaluar para aprender*. Barcelona: Grao.
- Sanmartí, N., Alimenti, G. (2004) “La evaluación refleja el modelo didáctico: análisis de actividades de evaluación planeadas en clases de química”. *Educación Química*, 15, pp. 120-128.
- Santos, S. E., Gavilán, G. I., Korkowski, P. I., Lomeli, T. V., Medina, D. G. (1991) *Handling of Waste Chemicals in Educational Laboratories; Fourth Chemical Congress of North America*: New York, N. Y., pp 25-30.
- Santos, S. E., Gavilán, G. I., Korkowski, P. I., Benítez B. Claudia, (1996) *Revista de la Sociedad Química de México*, Vol. 40 No. 6, pp. 275-280.

- Santos, S. E., Gavilán, G. I., (1996) *Revista UNAM-Hoy*, ISSN 188-6630, Año 5, No. 22, pp. 55-62.
- Santos, S. E., Gavilán, G. I., Lejarazo G. E.,(2004) Caring for the environment while teaching organic chemistry, *Journal of Chemical Education*, Vol. 81, No. 2, pp 232-238.
- Schwab, J. (1978) *Science, curriculum and liberal education*, Chicago: University of Chicago Press.
- Sección de Ciencia Básica Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) (1991) *Introducción a la Organización Académica del Laboratorio de Ciencia Básica I e Introducción a la Organización Académica del Laboratorio de Ciencia Básica II*. Revisión de Ana María Aguirre Molinuevo. Edición a cargo de Marcela Astorga y Roberto Andrade. México: FES-C.
- SEP (1993) *Plan y programas de estudio. Educación Primaria*, México.
- SEP (1993) *Plan y programas de estudio. Educación Secundaria*, México.
- SEP (1994) *Libro para el maestro de Química*, México.
- Séré, M.G., Leach, J., Niedderer, H., Paulsen, A.C., Tiberghien, A. y Vicentini, M. (1998) *Labwork in science education: Executive summary*. European Commission. Project PL 95-2005.
- Séré, M.G. (2002) “La Enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia?” *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), pp. 357-368.
- Shulman, Lee S. & Keislar, Evan R. (1974) *Aprendizaje por descubrimiento. Evaluación crítica*. México: Editorial Trillas S.A.
- Singer, S.R., Hilton, M.L. y Schweingruber, H.A. (Eds.) (2005) *America's Lab Report: Investigations in High School Science* Committee on High School Science Laboratories: Role and Vision, National Research Council. National Academies Press.
- Singh, M., Szafran, Z., Pike, R. (1999) “Microescale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies”. *J Chem Ed*. Vol. 76, No. 12, pp. 1684-1686.
- Tamir, P. (1989) “Training teachers to teach effectively in the laboratory”. *Science Education*, 73, pp. 59-69.
- Tamir, P. (1999) “Self assessment: the use of self report knowledge and opportunity to learn inventories”. *International Journal of Science Education*, 21(4), pp. 401-411.

- Tierney, R.J. *et al.* (1991) *Portfolio assessment in the reading-writing classroom*. Christopher-Gordon Publishers. Norwood, MA.
- Toulmin, S. (1972) *La comprensión humana*. Madrid: Alianza.
- Understanding the Small Quantity Generators of Hazardous Waste Rules* (1986) A Handbook for Small Business; EPA/530-SW-86-019; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC.
- UNEP Helmsman Topfer (1999) *Addresses Environmental Challenges, Environmental Science & Technology*.
- Vázquez, J.Z. (2010) "Renovación y crisis". *La Educación en México*. Colegio de México.
- Waste Disposal in Academic Institutions; (1990) Kaufman, J. A. Ed.; Lewis: Chelsea, MI
- Woolnough, B.E. and Allsop, T. (1985) *Practical work in science*, Cambridge: Cambridge University Press.

7 LOS AUTORES

ALEJANDRO BAEZA
REYES

Cursó la carrera de QFB, maestría y doctorado en Química Analítica en la Facultad de Química de la UNAM. Obtuvo mención honorífica en licenciatura y las medallas *Gabino Barreda* y *Alfonso Caso* por estudios de maestría y doctorado, respectivamente. Obtuvo el Premio *Distinción Universidad Nacional a Jóvenes Académicos en el área de Docencia en Ciencias Naturales*. Es profesor a nivel nacional e internacional de *Química Analítica a Microescala Total*. Realizó estancias de investigación en Rennes-I, Francia y en León, España 2005-2006. Es miembro del Comité Editorial de la *Revista Chilena de Educación Científica*.

SANTIAGO CAPELLA
VIZCAÍNO

Químico, dedicado a esta ciencia en su rama Analítica, cursó la licenciatura y la maestría en la Facultad de Química de la UNAM donde es profesor desde 1972. Ha dirigido tesis, publicado artículos e impartido conferencias en su área de especialidad. Ha ocupado diversos cargos en la misma entidad, incluyendo la Dirección. Actualmente coordina la Unidad de Química en Sisal, Yucatán, dedicada a la investigación de zonas costeras, primera unidad académica foránea de la Facultad de Química.

JOSÉ ANTONIO
CHAMIZO GUERRERO

Cursó la licenciatura y la maestría en la Facultad de Química de la UNAM y el doctorado en la School of Molecular Sciences de la University of Sussex, Inglaterra. Es profesor de la Facultad de Química desde 1977. Ha publicado más de cien artículos arbitrados sobre Química, educación, Historia, Filosofía y divulgación de la ciencia. Es además autor o coautor de más de treinta capítulos en libros y de cuarenta libros de texto y divulgación. Actualmente es el coordinador del Seminario de Investigación Educativa en la Facultad de Química.

**CRISTINA CORTINAS
DE NAVA**

Estudió Biología en la UNAM y el doctorado en Ciencias Naturales en la Universidad de París, Francia. Ha sido investigadora en Radiobiología y Genética de la Comisión Nacional de Energía Nuclear, del Instituto Nacional de la Salud e Investigación Médica de Francia y del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM, en donde también se ha desempeñado como docente. Ha ocupado diferentes cargos directivos en la Comisión de Ecología del Departamento del Distrito Federal, en la Secretaría de Salud, en el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y en el Grupo de Residuos del Programa *Frontera XXI*. Participa como asesora del Grupo Parlamentario del Partido Verde Ecologista de México en la Cámara de Diputados, en materia de residuos, sustancias químicas y actividades altamente riesgosas.

**IRMA CRUZ GAVILÁN
GARCÍA**

Egresada de la licenciatura en Química y la maestría en Ingeniería por la Facultad de Química de la UNAM, cuenta con dos especialidades en Medio Ambiente, obtenidas en España y The University of Florida, Estados Unidos. Obtuvo el doctorado en Medio Ambiente por el Instituto Politécnico Nacional. Es Perito Certificado por el Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y Químicos, ha impartido clases durante 24 años en la UNAM, además ha dictado numerosas conferencias y cursos dirigidos a la industria y otras universidades del país y del extranjero (Estados Unidos, Colombia, Uruguay y Venezuela). Desde hace 15 años es profesor invitado de la Texas A&M University.

**ALEJANDRA GARCÍA
FRANCO**

Ingeniera Química de formación básica por la Universidad Nacional Autónoma de México, Maestra y Doctora en Pedagogía por la misma Casa de Estudios. Actualmente es Profesora Titular en la Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa. Sus principales intereses de investigación son los procesos de aprendizaje en las ciencias naturales y la formación de profesores.

**MIGUEL GARCÍA
GUERRERO**

Químico Metalúrgico de profesión, egresado de la Facultad de Química. Profesor de la Escuela Nacional Preparatoria desde 1961 y de la Facultad de Química desde 1964. Es Coautor de 12 libros de Química y autor de dos libros sobre Técnicas de laboratorio de Química en microescala. Ha impartido 55 cursos a profesores y dictado 26 conferencias sobre el tema de microescala. Desempeñó el cargo de Jefe del Departamento de Química de la Escuela Nacional Preparatoria.

**ANDONI GARRITZ
RUIZ**

Labora desde hace 40 años en la Facultad de Química de la UNAM. Realizó estudios de Ingeniería Química, Maestría y Doctorado en Fisiocoquímica. Ha participado en más de 350 ponencias, publicado 150 artículos y capítulos de libros, seis manuales de prácticas, tres libros de divulgación y cinco libros de texto. Su área de trabajo es la Didáctica de la Química: Conocimiento Pedagógico Químico; Ciencia-Tecnología-Sociedad e Historia de la Química. Es el Director de la revista *Educación Química* desde su fundación en 1989.

**MARGARITA ROSA
GÓMEZ MOLINÉ**

Química, egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Químicas de la UNAM y Doctora en Didáctica de las Ciencias por la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesora desde 1974 de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán (UNAM) de Química Analítica, Química General y cursos para formación de profesores en Enseñanza de las Ciencias. Líneas de investigación: Identificación de obstáculos de tipo cognitivo en los estudiantes de la FES Cuautitlán: Propuestas para su superación y Los ejes transversales en los nuevos currículos. Los resultados se han presentado en Congresos y en publicaciones especializadas.

**ROSA MARÍA
GONZÁLEZ MURADÁS**

Química Farmacéutica Bióloga con Maestría en Educación en Ciencias por la Atlantic International University. Es profesora de Nivel Medio en la SEP y profesora de Tiempo Completo en la Facultad de Química de la UNAM. Ha participado en la organización de cursos y diplomados de educación en Química para profesores de nivel Medio Superior y Universitario, así como en la elaboración de las Guías de Estudio para presentar el examen de admisión a la UNAM y de los exámenes de ingreso de la propia Universidad.

**MARTÍN HERNÁNDEZ
LUNA**

Ingeniero Químico de la Escuela Nacional de Ciencias Químicas de la UNAM, doctor de la Universidad de Toulouse y doctor de la Université Paul Sabatier, Francia. Profesor de la Facultad de Química desde 1970. Ha elaborado 62 desarrollos tecnológicos aplicados en industrias mexicanas, registrado 17 patentes y publicado una veintena de artículos científicos. Coordinó un proyecto docente de Instrucción personalizada en cursos de Ingeniería Química de 1973 a 1976 y el Programa de Reforma de Enseñanza Experimental en la Facultad de Química de 1993 a 2010.

**GISELA HERNÁNDEZ
MILLÁN**

Estudió la carrera de Química y la Maestría en Físicoquímica en la Facultad de Química de la UNAM. Durante los últimos veinte años ha participado en programas de actualización y formación de profesores del nivel bachillerato y licenciatura de todo el país. Ha diseñado programas de diplomados y maestrías dirigidos a profesores de dichos grados. Ha escrito libros de teoría y laboratorio, para los niveles de secundaria y superior. Tiene publicaciones nacionales e internacionales en revistas arbitradas. Es subdirectora de la revista *Educación Química* y participa como árbitro de otras ediciones latinoamericanas.

**EVA FLORENCIA
LEJARAZO GÓMEZ**

Estudió la carrera de Química en la Facultad de Química de la UNAM, institución en donde actualmente imparte la asignatura de Química Orgánica II. Ha participado en cursos y seminarios de superación académica y ha colaborado en diversos proyectos para el mejoramiento de la Enseñanza, Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica; asimismo, ha publicado trabajos en revistas arbitradas.

**EDUARDO MARAMBIO
DENNETT**

Cursó la licenciatura de Pedagogía en Química en Santiago, Chile, y la maestría en la Facultad de Química de la UNAM. Es Profesor de la Facultad de Química desde 1976, ha dirigido 70 tesis de licenciatura y dos de maestría, ha participado con 65 trabajos en congresos nacionales y con 60 trabajos en congresos internacionales sobre enseñanza experimental de la Química Orgánica. Primer Coordinador de Seguridad, Prevención de Riesgos y Protección Civil (1993-2004), en la Facultad de Química de la Universidad Nacional. Instructor de la escuela de bomberos de Texas A&M en el área de Materiales Peligrosos (1997-2011). Actualmente es coordinador de los cursos 461, College Station, Texas. Certificado Proboard, NFPA 1041 (2007), FEMA Academia de Bomberos de Estados Unidos, NIMS ICS 100/200 (2010) e Incident Safety Officer (2011).

**ELIZABETH
NIETO CALLEJA**

Es Química con Especialización en Docencia en Química Analítica por la Facultad de Química de la UNAM. Es profesora desde 1974 en esta institución, actualmente imparte la asignatura de Química General I y II enseñanza teórica y experimental, también ha dado diversos cursos de formación docente para los niveles básico, bachillerato y licenciatura. Sus áreas de interés en la investigación educativa son la Enseñanza Experimental, Concepciones Alternativas y Conocimiento Pedagógico del Contenido de los profesores de Química. Es coautora de diversos artículos en revistas nacionales y extranjeras, así como de libros de texto para secundaria, bachillerato y licenciatura. Ha elaborado varios Manuales de Laboratorio en Microescala para nivel medio superior y superior.

**KIRA PADILLA
MARTÍNEZ**

Es Química y Maestra en Ciencias Químicas (Fisicoquímica) por la Facultad de Química de la UNAM y Doctora por la Universidad de Valencia, España, con especialidad en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Imparte cursos como Estructura de la Materia y Química General. Ha publicado diversos artículos en revistas internacionales y nacionales. Es coautora de diversos libros de secundaria y bachillerato. Sus áreas de interés en la investigación en Didáctica de las ciencias son: el CPC de los profesores en Química, Termodinámica y Química cuántica, historia y epistemología de los conceptos y modelos de pensamiento en los estudiantes de ciencias. Ha impartido diversos cursos de formación docente.

**ARMANDO JAVIER
DE JESÚS PADILLA
OLIVARES
(2011 †)**

Químico por la Escuela Nacional de Ciencias Químicas, hizo el posgrado en la División de Graduados de la UNAM y el posdoctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en Boston. Fue Profesor de tiempo completo desde 1966. Desempeñó diversos cargos en la Facultad de Química: Jefe de la División de Estudios Profesionales y Director de la Facultad en dos periodos (1978 a 1986). Fue Profesor Emérito y miembro de la Junta de Gobierno de la UNAM. Recibió numerosos reconocimientos, entre ellos, por 55 años de labor académica y el Premio a los Profesionistas de las Ciencias Químicas 2011. Sus actividades fuera de la UNAM se encaminaron a la investigación y al desarrollo de la industria química nacional, fue asesor en varias industrias químicas y petroquímicas. Fundó el Laboratorio de Investigación y Desarrollo del Grupo Industrial EBAG, fue asesor de Química Interamericana, Aromáticos Petroquímicos, Premix de México, Alfa Celulosa, S.A. de C.V., Tekchem, S.A. de C.V. y de Generación e Innovación Tecnológica S.A. de C.V. (GITSA).

ARMANDO SÁNCHEZ
MARTÍNEZ

Químico con estudios de maestría en Fisicoquímica egresado de la UNAM, cursó la maestría en Educación en la Universidad Autónoma de Morelos y realizó estudios de doctorado en el Instituto de Educación de la Universidad de Londres. Fue Profesor de Fisicoquímica de 1974 a 2004 (UNAM y UIA) y de Enseñanza de las Ciencias Naturales en diferentes maestrías de educación, de 1998 a la fecha. Laboró en la SEP de 1994 a 2004 como Director de Ciencias Naturales y desde 2005 trabaja en Editorial Santillana.

ELVIRA SANTOS
SANTOS

Es egresada de la licenciatura en Química y del Doctorado en Ciencias Químicas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Se desempeñó como Jefa del Departamento de Química Orgánica de 1969 a 1991 y como Coordinadora de la Carrera de Química de 1991 a 2010. Fue Profesora Titular de Carrera de 1968 a 2011. Ha asesorado 65 tesis de licenciatura y es responsable de proyectos de investigación (DGAPA, FIES-IMP-UNAM, INE-SEMARNAT-UNEP y CONACYT). Tiene trabajos publicados en revistas arbitradas; el *Journal of Chemical Education*, Vol. 87, No. 11, November 2010, pp. 1230-1232. Es responsable del Programa Universitario del Medio Ambiente y el Programa de Recolección de Residuos Peligrosos en la Facultad de Química.

La Enseñanza Experimental de la Química. Las experiencias de la UNAM es una obra editada por la Facultad de Química. Se terminó de imprimir el 25 de noviembre de 2013 en los talleres de Formación Gráfica, S.A. de C.V. con domicilio en Matamoros No. 112, Col. Raúl Romero, C.P. 57630, Cd. Nezahualcóyotl, Estado de México.

Se tiraron 500 ejemplares, en papel cuché mate paloma.
Se utilizaron en la composición la familia de la fuente Amerigo BT 10 y 9 pts.,
Amerigo BT bold 14 y 12 pts. Tipo de impresión: offset.

El cuidado de la edición estuvo a cargo de CME Brenda Álvarez Carreño.
El cuidado de diseño y formación estuvo a cargo de los Departamentos Editorial
y de Diseño y Medios Audiovisuales, adscritos a la Coordinación de Comunicación

Diseño de interiores: Maricela Hernández Casasola
Diseño de portada: Adrián Raúl Arroyo Berrocal

Publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química.

Noviembre de 2013

