



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**EL USO DE TRABAJOS PRÁCTICOS
POR INDAGACIÓN COMO
ESTRATEGIA PARA ACERCAR A LOS
ALUMNOS DEL BACHILLERATO AL
CONOCIMIENTO DE LA *NATURALEZA
DE LA CIENCIA***

**MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
(ÁREA DE QUÍMICA)**

SUSTENTANTE:

**I.Q. GUILLERMO ROMO
GUADARRAMA**

TUTORA:

**M. EN C. GISELA HERNÁNDEZ
MILLÁN**



SEPTIEMBRE 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente: DR. ANDONI GARRITZ RUIZ

Secretario: DR. PLINIO SOSA FERNÁNDEZ

Vocal: DRA. FRIDA DÍAZ BARRIGA ARCEO

1^{er}. Suplente: DR. JOSÉ LUIS CÓRDOVA FRUNZ

2^{do}. Suplente: DRA. GILDA FLORES ROSALES

Lugar donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM. MÉXICO, D. F.

Tutora de tesis: MTRA. GISELA HERNÁNDEZ MILLÁN

FIRMA

Sustentante: I.Q. GUILLERMO ROMO GUADARRAMA

FIRMA

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer, en primer término, a dos personas que me apoyaron directamente en la realización de este trabajo: mi tutora de tesis, la Maestra Gisela Hernández Millán, quien, en todo momento, me orientó para la realización de esta investigación, y cuyos consejos y recomendaciones me han ayudado en éste y otros proyectos de mi formación; asimismo, agradezco a la Maestra Nadia Teresa Méndez Vargas, mi supervisora de práctica docente, quien me apoyó durante la ejecución de la estrategia didáctica.

También quiero agradecer a los profesores que me han formado durante esta etapa, a quienes aprecio, y quienes me han ayudado a ser mejor docente y mejor persona. En especial quiero agradecer al Dr. Andoni Garritz, al Dr. Plinio Sosa, al Dr. José Antonio Chamizo, al Maestro José Manuel Méndez, a la Maestra Ana María Sánchez y a la Dra. Ana María Sosa, por ser grandes ejemplos para mi actividad profesional.

Agradezco a los sinodales de esta investigación, cuyos oportunos y acertados comentarios han ayudado a enriquecer este trabajo de tesis.

También agradezco al Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel sur, de la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo brindado para el estudio de mi posgrado y por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la estrategia didáctica.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que me han acompañado en este proceso y que me han ayudado de muy diversas maneras en mi vida profesional: mis compañeros y amigos de MADEMS, mis alumnos de la práctica docente, mis amigos y mi familia.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

Ciudad Universitaria, D.F., a 23 de septiembre de 2008

Índice

	Página
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Marco teórico	7
A) Objetivos de la enseñanza de las ciencias ...	8
B) Imágenes distorsionadas de la ciencia	11
C) Concepciones sobre <i>naturaleza de la ciencia</i>	15
D) Concepciones sobre el aprendizaje de las ciencias	19
E) La alternativa de la indagación para la enseñanza de la <i>naturaleza de la ciencia</i>	26
Capítulo 3. Metodología	31
A) Selección de un instrumento que evalúe las ideas de los alumnos sobre la <i>naturaleza de la ciencia</i> , y la aplicación inicial de éste a dos grupos de bachillerato	33
B) Diseño y aplicación de tres trabajos prácticos por indagación en el grupo de trabajo	38
C) Aplicación final del instrumento a los dos grupos	46
D) Interpretación de los resultados	47
Capítulo 4. Resultados	51
A) Resultados obtenidos de los tres trabajos prácticos por indagación	52
B) Resultados obtenidos de las preguntas cerradas de los cuestionarios sobre <i>naturaleza de la ciencia</i>	68
C) Resultados y análisis de la pregunta abierta del cuestionario	84
Capítulo 5. Discusión de resultados.....	89
Capítulo 6. Conclusiones	99
Anexos	102
Bibliografía	125

Capítulo 1

Introducción

Introducción

Durante los últimos años, muchos educadores e investigadores en didáctica de las ciencias han señalado la importancia de que los alumnos que cursan el bachillerato adquieran una formación científica que los eduque como ciudadanos, y que no sólo los informe de las ideas más importantes de las distintas disciplinas científicas que estudian. Esta etapa de la formación de la persona adquiere una gran relevancia, puesto que la mayoría de los estudiantes de este ciclo educativo no volverá a tener contacto con asignaturas de ciencias experimentales. Además, algunos estudios como el documento “Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe”, conocido también como el “Informe Rocard” (2007), señalan que la ciencia, tal como se enseña actualmente, no resulta atractiva para los jóvenes.

Por poner un ejemplo, de acuerdo con la tabla 1, sólo un 12% de los jóvenes que ingresan al nivel superior en la Universidad Nacional Autónoma de México se orientan a estudiar alguna carrera científica (incluyendo en éstas, las carreras de actuaría y ciencias de la computación). Este porcentaje aumenta a 18% si se toman en cuenta las ingenierías (las cuales tienen en su tronco común asignaturas científicas). El resto de los estudiantes estará cursando en el bachillerato, quizá por última vez, una asignatura que tenga que ver con la ciencia.

Tabla 1. Porcentaje de alumnos y alumnas de primer ingreso en la UNAM, que estudian una carrera científica o de ingeniería (generación 2007-2008)

Facultad	Tipo de carrera	Hombres	Mujeres	Total
Ciencias	Ciencias	2.4%	1.7%	4.1%
Química	Ciencias	0.9%	1.5%	2.3%
	Ingenierías	0.6%	0.3%	1.0%
FES Zaragoza	Ciencias	0.8%	0.9%	1.8%
	Ingenierías	0.3%	0.2%	0.4%
FES Iztacala	Ciencias	0.4%	0.6%	1.1%
FES Cuautitlán	Ciencias	0.6%	0.8%	1.4%

	Ingenierías	1.3%	0.7%	1.9%
FES Acatlán	Ciencias	1.0%	0.5%	1.5%
	Ingenierías	0.3%	0.1%	0.4%
FES Aragón	Ingenierías	2.0%	0.2%	2.2%
Porcentajes totales	Ciencias	6.2%	6.0%	12.2%
	Ingenierías	4.4%	1.5%	5.9%
	Ciencias + Ingenierías	10.6%	7.5%	18.1%
Total de alumnos de primer ingreso	Todas las carreras	15547	18033	33580

Elaborada con los datos proporcionados por la agenda estadística 2007 de la
Universidad Nacional Autónoma de México

Esta información por sí misma no constituiría una situación problemática si nuestros alumnos dejaran el bachillerato conociendo, al menos, cómo es que la ciencia se construye y propone sus explicaciones y modelos sobre el funcionamiento del mundo. No obstante, existe realmente el problema de que muchos de los estudiantes no tienen un conocimiento significativo sobre los contenidos de las disciplinas científicas que estudian en este nivel ni tampoco sobre lo que es la ciencia. En pocas palabras, existe una escasa cultura sobre qué es la ciencia y qué es lo que hacen los científicos (Domínguez, 2005) en muchos de nuestros futuros ciudadanos.

Los profesores involucrados en la didáctica de las ciencias, estamos de acuerdo en que no es suficiente enseñar a los estudiantes a repetir hechos científicos, leyes y teorías. Más bien, lo que queremos es que los estudiantes sepan por qué el conocimiento y las ideas científicas tienen méritos y son confiables (Garritz, 2006). Sin embargo, aún cuando los alumnos ya han estudiado ciencias en la educación secundaria y la continúan estudiando en el nivel medio superior, éstos consiguen aprender apenas algunas ideas científicas y algunos procedimientos experimentales, pero siguen desconociendo cuáles son las características de la ciencia y cómo se construye.

Esta situación continuará del mismo modo, a menos que los profesores de ciencia estemos dispuestos a cambiar el modo de enseñar nuestra asignatura. En este

sentido, algunos autores, como es el caso de Isabel Sofía Rebelo (2007), señalan que los profesores de ciencia somos decisivos para la mejora de la educación científica formal, ya que en última instancia determinamos el éxito o el fracaso de cualquier reforma o innovación curricular en dichas áreas.

Por esta razón es importante no solamente comenzar a trabajar en las reformas sugeridas por la investigación en didáctica, sino que además es necesario trabajar formando a los nuevos docentes para que las innovaciones tengan el alcance adecuado.

Tomando como base muchas publicaciones que sugieren enfoques de enseñanza por indagación como un método efectivo para mejorar el conocimiento de los alumnos sobre la *naturaleza de la ciencia*, tales como los estándares estadounidenses para la enseñanza de las ciencias (1996), el mismo Informe Rocard (2007), así como las investigaciones de Abd-El-Khalick, Bell y Lederman (1998), Akerson y Abd-El-Khalick (2003) o Akerson y Hanuscin (2007), se propone en esta tesis una secuencia de trabajos prácticos abiertos, utilizando el modelo de indagación que propone el consejo de investigación estadounidense, conocido como "National Research Council" o NRC, el cual será detallado en el marco teórico. Con estas actividades experimentales se pretende demostrar que hay algunas ideas fundamentales del concepto de *naturaleza de la ciencia* que se aprenden de mejor forma por este método que por medio de una enseñanza tradicional. Ésta es la hipótesis central de la investigación.

Solamente como aclaración, aún cuando la enseñanza tradicional se describirá también en el marco teórico, se puede decir que ésta se basa en el modelo de educación por transmisión-recepción.

Es importante hacer notar que el concepto *naturaleza de la ciencia* es complejo, y no puede ser adquirido exclusivamente mediante enseñanza experimental; no obstante, muchos investigadores han mencionado que no existe una mejor forma

de enseñar ciencia y enseñar sobre la ciencia que acercando a los estudiantes a la forma de trabajo de los científicos.

Es cierto también que hablar sobre *naturaleza de la ciencia* es controversial, puesto que actualmente no hay un solo modelo que explique qué es y cómo se construye la ciencia. Ni siquiera el mismo término, *naturaleza de la ciencia*, ostenta el mismo significado para diferentes autores. Eso no significa que el concepto sea tan difuso que no sea posible tener algunas ideas consensuadas al respecto, o que no existan semejanzas importantes entre los diferentes modelos que lo explican. Sin embargo, para ser consistente con el modelo de indagación que se utilizó, se tomó como base la definición que, de este concepto, utiliza también el consejo de investigación estadounidense (NRC), en sus estándares nacionales para la educación científica (1996). Esta definición puede encontrarse en la página 26, dentro del marco teórico de este documento.

De tal forma, uno de los objetivos que se buscaron en este trabajo de tesis fue, primeramente, plantear una alternativa de enseñanza experimental con la cual se pudieran apreciar diferencias en la adquisición de algunos elementos sobre el concepto de *naturaleza de la ciencia* con respecto a la enseñanza experimental tradicional, en la inteligencia de que este conocimiento requiere más de una estrategia y de un ciclo escolar para ser adquirido cabalmente.

Dicha alternativa de enseñanza experimental consta de una secuencia de tres actividades prácticas por indagación para alumnos de bachillerato, para la asignatura de química IV, de acuerdo con el programa del Colegio de Ciencias y Humanidades. Si bien esta asignatura no es obligatoria para todos los alumnos, por lo cual quienes la cursan eligieron hacerlo, se trabajó con este programa (química IV) debido al grupo que nos fue asignado para la práctica docente, y porque, aún cuando la materia fue seleccionada por los estudiantes mismos, no lo hicieron necesariamente porque les interesen las asignaturas científicas. Muchos

alumnos, por poner un ejemplo, escogen química para evitar materias como física o biología.

Por otro lado, y como parte fundamental de la investigación, se realizó la comparación entre la enseñanza experimental propuesta, impartida al grupo 618 de química IV, con el cual se trabajó, y una enseñanza experimental tradicional del programa de química IV, que fue recibida por un grupo de control, el 612, cuyas características muy semejantes a las del grupo de trabajo, serán descritas a detalle en la metodología. Dicha comparación, se hizo con respecto a la adquisición de elementos sobre la *naturaleza de la ciencia* al finalizar el curso escolar. Para apreciar esas diferencias se partió de un cuestionario que evalúa la comprensión de algunas ideas destacadas sobre este concepto. La descripción y las razones para la selección de este instrumento de evaluación, así como el análisis de sus limitaciones y ventajas, serán tratadas en el capítulo destinado a la metodología. Asimismo, los alcances de la alternativa experimental serán analizados en los capítulos de resultados y discusión sobre los mismos.

El trabajo de investigación de esta tesis fue realizado en el Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel sur, de la Universidad Nacional Autónoma de México, durante el semestre 2007-2. Los grupos que me apoyaron para poder realizarla fueron los grupos 612 (grupo de control) y 618 (grupo de trabajo), este último fue en el cual desarrollé mi práctica docente, ambos de la asignatura de química IV, de sexto semestre y turno matutino.

Queda entonces planteada la pregunta que orientó esta investigación: ¿los estudiantes adquieren más elementos sobre la *naturaleza de la ciencia* mediante trabajos prácticos por indagación?

Capítulo 2

Marco teórico

Marco Teórico

A) Objetivos de la enseñanza de las ciencias

Como profesores de ciencia en el bachillerato, uno de nuestros principales intereses es que, aún cuando la mayoría de nuestros alumnos no vuelva a estudiar ciencia formalmente, los futuros ciudadanos conozcan qué es y cómo se construye la ciencia, para que así puedan dar el justo valor a las ideas y al razonamiento de los científicos.

Es precisamente este hecho el que ha dirigido la atención de nosotros, profesores de ciencias experimentales, sobre aquellos elementos de ciencia que estamos brindándoles a los alumnos en el que, quizá, sea su último acercamiento a los conocimientos de las diferentes disciplinas científicas.

En los últimos años, se ha señalado como una prioridad educativa internacional, que los alumnos aprendan ciencia, tal como se puede ver, por ejemplo, en la “Declaración sobre la ciencia y el uso del saber científico” (OEI, 1999):

“La investigación científica y sus aplicaciones pueden ser de gran beneficio para el crecimiento económico y el desarrollo humano sostenible, comprendida la mitigación de la pobreza, y que el futuro de la humanidad dependerá más que nunca de la producción, la difusión y la utilización equitativas del saber, [...]”

Esta conferencia también considera que, en el proceso de mundialización en curso, el conocimiento científico y tecnológico desempeña una función estratégica.

La importancia concedida a una educación científica para todos es tal, que ha llevado a establecer una analogía entre la alfabetización básica iniciada el siglo

pasado y el actual movimiento de alfabetización científica y tecnológica (Fourez, 1997).

Gil y Vilches (2006) citan a Peter Fensham, quien a su vez menciona una tesis pragmática para defender la alfabetización científica. Dicha tesis sostiene que los futuros ciudadanos se desenvolverán mejor si adquieren una base de conocimientos científicos, dado que las sociedades se ven cada vez más influidas por las ideas y los productos de las tecnociencias. No obstante, estos autores (2004) señalan que Fensham también objeta esta tesis, pues considera el hecho de que la mayoría de los productos tecnológicos están concebidos para que los usuarios no tengan, para poder utilizarlos, necesidad alguna de conocer los principios científicos en los que se basan. Incluso eminentes personalidades, en cualquier sociedad, reconocen su falta de conocimientos científicos, sin que ello haya limitado para nada su vida práctica.

Driver y sus colaboradores (1996) señalan un argumento democrático para defender la enseñanza de la ciencia. Éste consiste en que se debe alfabetizar científicamente a los alumnos para que puedan participar, como ciudadanos, en las decisiones tecnocientíficas de interés social. Ello los convierte en partícipes y en seres conscientes de los cambios que ocurren en su sociedad y en su ambiente. Por lo que respecta a esta tesis, Gil y Vilches (2004) señalan que, pensar que una sociedad científicamente alfabetizada está en mejor situación para actuar racionalmente frente a los problemas socio-científicos, constituye, según Fensham, una ilusión que ignora la complejidad de los conceptos científicos implicados, como sucede, por ejemplo, en el calentamiento global. Es poco realista, añade, creer que este nivel de conocimientos pueda ser adquirido, aún en las mejores escuelas.

Aún cuando estos dos argumentos presentan sus controversias, Driver y su equipo (1996) señalan otros cuatro argumentos a favor de la enseñanza de la ciencia. Éstos son:

- El argumento económico, en el que mencionan que se necesitan científicos calificados para mantener y desarrollar procesos industriales de los cuales depende el futuro económico del país.
- El argumento cultural, que dice que la ciencia es un patrimonio cultural, como lo es el arte, y todos debemos estar capacitados para apreciarlo.
- El argumento moral dice que la práctica científica incorpora a nuestra vida normas y compromisos que nos son de gran valor.
- Por último, el argumento del aprendizaje de la ciencia dice que el entendimiento de la *naturaleza de la ciencia* contribuye al aprendizaje exitoso del conocimiento científico.

Adicionalmente, Gil y Vilches (2004) han señalado lo que consideran que puede aportar la educación científica y tecnológica a la formación ciudadana:

- La toma de decisiones acerca de los problemas a los que se enfrenta la humanidad, para que los ciudadanos y ciudadanas adquieran una correcta percepción de cuál es la situación de su planeta y puedan participar en la toma de decisiones fundamentadas
- La formación de un espíritu crítico
- El placer personal del conocimiento

Nuevamente Driver, junto con Newton y Osborne (2000), mencionan que saber ciencia no sólo es saber “qué” es un fenómeno, sino “cómo” se relaciona con otros eventos, “por qué” es importante, y “cómo” es que surge esta visión del mundo. Por lo tanto, si pretendemos que nuestros alumnos entiendan las bases de los conocimientos que reciben, deben ser capaces de presentar argumentos coherentes y de evaluar los de los demás, especialmente aquéllos que provienen de los medios de comunicación. Además, en la sociedad democrática actual, es crítico que los alumnos tengan las herramientas para construir y analizar los argumentos relativos a los asuntos donde la ciencia está implicada y aplicada.

A través de la enseñanza de la ciencia, los estudiantes conocen un nuevo lenguaje para representar y describir el mundo que les rodea, y por tanto, pueden verlo desde otras perspectivas. Este proceso es semejante a la enseñanza de un idioma extranjero, en el sentido de que, para adquirirlo, los alumnos no sólo requieren escucharlo sino practicarlo para poder familiarizarse con esta nueva forma de pensar y hablar.

Por lo tanto, si se ha considerado esencial que los alumnos estudien ciencia para un mejor desarrollo personal y social, ¿cómo es entonces que, habiendo estudiado ya cursos previos de disciplinas científicas, no todos los alumnos cuentan con una buena cultura científica?

B) Imágenes distorsionadas de la ciencia

Para dar respuesta a esta pregunta, se han desarrollado diferentes líneas de investigación en didáctica de las ciencias. Por mencionar sólo una de ellas, se han estudiado las diferentes concepciones alternativas que los estudiantes poseen sobre algún tema (en este caso específico, sobre la ciencia), que pueden convertirse en un obstáculo para el aprendizaje de los conocimientos deseados.

Sin pretender dar una definición amplia, las concepciones alternativas, ideas previas o ingenuas, son expresiones cotidianas sobre los fenómenos naturales o sobre algún tema específico, que surgen del lenguaje social coloquial, debidas a las experiencias de las personas, incluidas en éstas las experiencias escolares, puesto que muchos profesores suelen tener también ideas previas (Campanario, 2000). Por esta razón, resulta básico partir de la existencia de estas ideas para poder introducir nuevas formas de pensar y hablar con los estudiantes, ilustrando y modelando cómo las nuevas ideas (en este caso las científicas) son más apropiadas para diferentes situaciones que las que tenían originalmente.

A lo largo de los cursos que los alumnos toman sobre disciplinas científicas, se adquieren y se refuerzan algunas de las principales concepciones alternativas o visiones deformadas de la ciencia. Éstas, de acuerdo a algunos estudios como los de Daniel Gil y su grupo de trabajo (Fernández, 2002), pueden clasificarse en siete distintas visiones. Cada una de ellas representa una imagen ingenua de la ciencia, que se ha consolidado históricamente como un estereotipo socialmente aceptado, y que la misma educación científica refuerza por acción u omisión, por lo cual, es necesario conocerlas para poder romper con ellas, y así poder lograr una mejor enseñanza de la ciencia. Dichas imágenes, nombradas tal como aparecen en este estudio, son:

- 1) Concepción descontextualizada. Es la más abundante en la literatura, y proviene principalmente de la filosofía positivista. Es aquella donde la ciencia se muestra como socialmente neutra, ignorando o tratando de forma muy superficial las relaciones entre la ciencia, la sociedad, la tecnología y el ambiente.
- 2) Concepción individualista y elitista. Otra visión muy común, es la que concibe a la ciencia como un conjunto de obras de genios aislados, ignorándose así el papel del trabajo colectivo. Esta visión también contempla que el trabajo de un solo científico o un equipo de trabajo “puede bastar” para verificar o desechar una hipótesis. A menudo, se insiste explícitamente en que el trabajo científico es un dominio reservado a minorías especialmente dotadas, con claras discriminaciones de naturaleza social y sexual. Además, se contribuye a este elitismo evitando hacer accesible el conocimiento a los alumnos, u ocultándoles el carácter humano que tiene la ciencia, es decir, omitiendo decir que se trata de una construcción social, en la que no faltan confusiones ni errores. Esta imagen se traduce en iconografías que representan al científico como un hombre con bata blanca, dentro de su inaccesible laboratorio, repleto de extraños instrumentos, y con una vida muy diferente al de una persona común.

- 3) Concepción empírico-inductivista y ateórica. Esta visión resalta el papel de la observación y de la experimentación neutra, es decir, no contaminada con ideas *a priori*, olvidando el importante papel de las hipótesis como un foco de las investigaciones, así como el de los cuerpos de conocimiento disponibles, o teorías, que orientan el proceso entero. Aún cuando ha sido muy estudiada, esta visión sigue presente en muchos profesores de ciencias, quienes siguen reduciendo la actividad científica a una experimentación, que como ya se ha mencionado, suele ser sólo para reforzar elementos teóricos.
- 4) Concepción rígida, algorítmica e infalible. En ésta, el “Método Científico” se define como un conjunto de etapas a seguir mecánicamente, resaltando el control y la rigurosidad del mismo, y dejando de lado la creatividad y las preguntas no resueltas de las investigaciones. Esta visión también sostiene que el conocimiento científico se transmite de forma acabada, para su simple recepción.
- 5) Concepción aproblemática y ahistórica. Semejante a la visión anterior, esta concepción es aquella en la cual se transmiten conocimientos ya elaborados sin mostrar los problemas que generó su construcción; asimismo, no se señalan las limitaciones del conocimiento ni su evolución.
- 6) Concepción exclusivamente analítica. Esta visión ha sido escasamente tratada por las investigaciones en didáctica de las ciencias, y consiste en mirar a la ciencia como una dispersión de conjuntos de conocimientos, y no como un gran campo de conocimientos interconectados. Aunque, ciertamente, el análisis es un proceso necesario en la ciencia, es preciso no olvidarse de la posterior unificación y construcción de cuerpos de conocimientos cada vez más amplios, o el tratamiento de problemas “puente” entre distintas disciplinas.

- 7) Concepción acumulativa, de crecimiento lineal. Ésta, presenta al desarrollo científico como un crecimiento lineal, puramente acumulativo, ignorando las crisis y remodelaciones profundas, que filósofos como Kuhn llamaron “revoluciones científicas”, como si la ciencia nunca se cuestionara sus bases.

Se puede apreciar que estas visiones se encuentran asociadas entre sí, como una expresión de la imagen ingenua de la ciencia. Si se consideran estas visiones como un punto de partida de nuestra enseñanza, puesto que los alumnos las han adquirido gracias a los medios de comunicación o en cursos anteriores, se pueden planificar diferentes estrategias didácticas que ayuden a modificar las ideas de los estudiantes hacia unas visiones de la ciencia mucho más informadas.

La educación científica tradicional que han recibido nuestros alumnos es, principalmente, la causante de la opinión tan pobre y tan sesgada que tienen sobre la ciencia. Hoy en día, los estudiantes piensan que la ciencia es una actividad no apta para cualquier miembro de la sociedad, y que requiere una inteligencia superior para ser bien entendida, aún en sus conceptos básicos. Este tipo de percepciones están alejando a los jóvenes no sólo de estudiar carreras científicas, sino de conocer la belleza y utilidad de saber ciencia.

Habiendo señalado aquellas imágenes de la ciencia que se desean evitar en los alumnos, es necesario plantearse ahora cuáles son los elementos que sí se desean proporcionar en el bachillerato para alfabetizar científicamente a los estudiantes. En este sentido, otra línea de investigación existente en la enseñanza de las ciencias, es aquélla que busca incorporar el concepto *naturaleza de la ciencia* al acervo de los alumnos.

C) Concepciones sobre *naturaleza de la ciencia*

El primer problema que han detectado las investigaciones más recientes, es el hecho de que, tanto estudiantes como maestros, no poseen este concepto de forma clara (Lederman y sus colaboradores, 2002).

Es común encontrar diferentes concepciones sobre la ciencia misma y sobre el término *naturaleza de la ciencia*, por lo cual se considera conveniente especificar cuál es el concepto que se utilizará en esta tesis. Para ello, primero se citarán algunas definiciones que se pueden encontrar en artículos recientes.

De acuerdo con Agustín Adúriz Bravo (2005),

“la *naturaleza de la ciencia* es un conjunto de ideas metacientíficas con valor para la enseñanza de las ciencias naturales”.

Aún cuando el mismo autor señala que la definición es vaga, explica que es conveniente tal ambigüedad debido a tres factores: 1) lo difusos que son los límites entre las metaciencias que nutren el concepto, tales como la epistemología, la historia y la sociología; 2) a que no hace referencia alguna a las escuelas teóricas de donde provienen las ideas; y por último, 3) a que evoca una selección cuidadosamente planificada, que rescata únicamente a los elementos con incidencia positiva en la enseñanza de las ciencias.

El autor señala tres perspectivas de análisis o ejes de la *naturaleza de la ciencia*, que corresponden a las tres grandes preguntas que podemos hacernos sobre la ciencia:

- a) El eje epistemológico. Nos ayuda a responder qué es la ciencia y cómo se elabora.

- b) El eje histórico. Busca responder cómo cambia la ciencia con el tiempo.
- c) El eje sociológico. Responde a cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura.

Ángel Vázquez Alonso, citado por Garritz (2006), dice que la *naturaleza de la ciencia* es un metaconocimiento sobre la ciencia que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la historia, la filosofía y la sociología por especialistas de estas disciplinas, pero también por algunos científicos insignes.

El mismo Vázquez, junto con sus colaboradores (2007), menciona que la *naturaleza de la ciencia* engloba una variedad de aspectos sobre qué es la ciencia, su funcionamiento interno y externo, cómo construye y desarrolla el conocimiento que produce, los métodos que usa para validar este conocimiento, los valores implicados en las actividades científicas, la naturaleza de la comunidad científica, los vínculos con la tecnología, las relaciones de la sociedad con el sistema tecnocientífico y viceversa, es decir, las aportaciones de éste a la cultura y al progreso de la sociedad.

El primer capítulo del documento “Ciencia para todos los estadounidenses” (Rutherford y Ahlgren, 1989), elaborado a petición la asociación estadounidense para el avance de la ciencia, no contiene una definición sobre *naturaleza de la ciencia*, sino una explicación más amplia sobre los elementos que los estudiantes deben poseer al respecto. Por esta razón fue que este documento es la base de los posteriores instrumentos empleados en esta investigación. Un fragmento de la introducción de este documento es el siguiente:

“A lo largo de la historia de la humanidad, se han desarrollado y probado muchas ideas relacionadas entre sí sobre los ámbitos físico, biológico, psicológico y social. Dichas ideas han permitido a las generaciones posteriores entender de manera cada vez más clara y confiable a la especie humana y su entorno. Los medios utilizados para desarrollar tales ideas son formas particulares de observar, pensar, experimentar y probar, las cuales

representan un aspecto fundamental de la naturaleza de la ciencia y reflejan cuánto difiere ésta de otras formas de conocimiento.

La unión de la ciencia, las matemáticas y la tecnología conforma el quehacer científico y hace que éste tenga éxito. Aunque cada una de estas empresas humanas tiene su propio carácter e historia, son interdependientes y se refuerzan entre sí. De acuerdo con ello, en los tres primeros capítulos de recomendaciones se esbozan perfiles de la ciencia, las matemáticas y la tecnología, que ponen de relieve sus papeles en la labor científica y revelan algunas semejanzas y conexiones entre ellas.

En este capítulo se dan recomendaciones sobre qué conocimientos del modo en que opera la ciencia son requisitos para la formación científica. Se hace hincapié en tres principales temas: 1. la visión del mundo científico, 2. los métodos científicos de investigación, y 3. la naturaleza del trabajo científico. En los capítulos 2 y 3 se considera en qué difieren las matemáticas y la tecnología de la ciencia en general. En los capítulos del 4 al 9 se presentan visiones del mundo según la ciencia actual; en el capítulo 10 se tratan episodios clave en el desarrollo de la ciencia; y en el 11 se reúnen ideas que intersectan todas estas concepciones del mundo.”

De tal forma, puede verse que conocer cabalmente la *naturaleza de la ciencia* implica un conocimiento de diferentes áreas, como la epistemología o la historia, pero también de la metodología científica. No basta pues, saber los contenidos de las disciplinas científicas, sino también hace falta saber cómo se elaboraron, cómo han evolucionado y cómo ha cambiado el razonamiento humano para llegar a considerar a la ciencia como una explicación congruente y poderosa. Es labor de nosotros, docentes, hacer que los alumnos tengan buenas concepciones epistemológicas, es decir, que tengan ideas de personas informadas sobre ciencia, el conocimiento científico y cómo se aprende la ciencia (Campanario, 1999).

Resta solamente explicar cuál es la concepción epistemológica utilizada en esta tesis, puesto que el documento antes citado, “Ciencia para todos los estadounidenses”, contiene, en muchas ocasiones, las ideas sobre la *naturaleza de la ciencia* de forma implícita.

A manera de resumen, se puede decir que la ciencia, a consideración de estos autores y de esta investigación, es una forma de explicar y predecir las cosas que ocurren en el universo. Para hacerlo, las comunidades científicas buscan regularidades en los fenómenos que permitan hacer modelos de éstos, para posteriormente, hacer predicciones que funcionen en esos y, tal vez, otros fenómenos. Las hipótesis que los científicos proponen, a la luz de las teorías que conocen y de la información disponible, funcionan como el motor de las investigaciones, generando, en primer término, diseños experimentales que buscan comprobarlas o modificarlas. En esa etapa experimental, los científicos observan y realizan mediciones sobre los fenómenos naturales para reunir evidencias que después sirvan para validar las aseveraciones científicas; sin embargo, no consideran que sólo la experimentación es la fuente del conocimiento científico, ya que las teorías, lógicas y congruentes, son las que en ocasiones dan validez a las enunciaciones. Esto tiene como consecuencia que no exista un solo camino o método para llegar a un conocimiento científico.

Un elemento fundamental de esta postura epistemológica es que considera el factor sociológico de la *naturaleza de la ciencia*: la creatividad, la pasión, la idiosincrasia, y la cultura del científico se encuentran inmersas en las investigaciones que realiza. La imagen del científico se equipara con la de un profesionalista cualquiera, con sesgos, con imaginación, con dedicación, entre muchas otras características, que, sin embargo, no son específicas de su trabajo. Con ello se rompe con visiones rígidas y elitistas.

Existe entonces una estrecha relación entre la concepción que se posee sobre la *naturaleza de la ciencia* y los tipos de aprendizaje que se promueven en los alumnos (Acevedo, 2002).

D) Concepciones sobre el aprendizaje de las ciencias

De acuerdo con Verdú y sus colaboradores (2002), un aprendizaje sólido de conocimientos científicos exige un proceso de evolución, así como un cambio conceptual y epistemológico, razón por la cual, la enseñanza debe organizarse para que generen las oportunidades adecuadas para promover este proceso. Se debe, en síntesis, evitar la enseñanza transmisiva que se utiliza frecuentemente en nuestras aulas.

Cuando este grupo de investigadores, y las investigaciones en didáctica en general, se refieren a enseñar de forma transmisiva, están hablando de la enseñanza por el modelo educativo de transmisión-recepción, el cual está ampliamente difundido entre los profesores actuales. Dicho modelo, también conocido como modelo de “enseñanza tradicional”, tiene su origen en las visiones positivistas de la enseñanza, y en éste, los alumnos son meros receptores de una información ya elaborada, lista para ser empleada en alguna determinada aplicación. De esta forma, los alumnos son sujetos pasivos, y se limitan a recibir “todos” los elementos que el profesor conoce sobre su asignatura.

Aunque se puede hablar mucho al respecto de esta “enseñanza transmisiva”, lo más importante que se puede mencionar es que no ha conseguido que los alumnos superen las visiones deformadas de la ciencia, o bien, que no ha conseguido aumentar de modo considerable el gusto por las disciplinas científicas. Queda claro que debe buscarse una nueva forma de enseñar la ciencia a los jóvenes.

Actualmente, algunas líneas de trabajo en didáctica de las ciencias sugieren que la enseñanza debe, en lo posible, acercarse a la forma en que los científicos realizan sus investigaciones (Gil y colaboradores, 2002). Bajo este punto de vista, los alumnos deben plantear problemas y discutir su relevancia, tomar decisiones que permiten avanzar; formular ideas y ponerlas a prueba, obtener evidencias para apoyar las conclusiones, utilizar los principios de coherencia y universalidad, y todo ello dentro de un aula que permite pensar, hacer y debatir.

Siendo la actividad experimental un elemento importante de las investigaciones científicas, una de las formas en que se propone mejorar la enseñanza de la *naturaleza de la ciencia*, es mediante la reestructuración de las prácticas de laboratorio.

En ese sentido, los profesores de ciencias consideramos que el laboratorio es sumamente importante para el aprendizaje de conocimientos científicos; no obstante, en ocasiones no tenemos claro el objetivo que persigue. Entre los muchos objetivos que damos a los trabajos prácticos destacan:

- Motivar al estudiante estimulando su interés
- Conocer la metodología científica
- Profundizar en el conocimiento teórico
- Desarrollar destrezas en el laboratorio
- Adquirir autonomía para realizar una investigación
- Desarrollar actitudes científicas

De acuerdo con Derek Hodson (1994 y 2005), sólo *algunos* profesores pueden cumplir *algunos* de estos objetivos en *algunos* alumnos. Además, aparentemente, los estudiantes no adquieren los conocimientos científicos de forma más efectiva por métodos experimentales que por medio de otras alternativas de enseñanza.

Al respecto, muchos otros educadores han cuestionado la efectividad de los trabajos prácticos debido a la forma en la que se realizan en algunas instituciones educativas. Las preguntas que se suelen plantear son:

- ¿Pueden los estudiantes alcanzar los objetivos anteriores si no se les brindan oportunidades para que lo hagan?
- ¿Cómo lograr los objetivos si la mayoría de los protocolos de laboratorio se restringen a actividades que sirven solamente para verificar o ilustrar la teoría?

Barberá y Valdés (1996), en cuanto a la capacidad de los trabajos prácticos para desarrollar actitudes científicas, mencionan que habría que preguntarse cuáles son las características propias y distintivas de los científicos, puesto que en ese sentido, los trabajos prácticos pueden estar ayudando a dar la imagen estereotipada y distorsionada del científico, cuando lo que debería proyectarse en la enseñanza de las ciencias es que cualquier persona puede convertirse en científico. Otro error que señalan es presuponer que aprender ciencias es equivalente al proceso de investigación científica: se asume que el contenido pedagógico de la experiencia de aprendizaje es idéntico a la estructura sintáctica de la disciplina que se estudia; es decir, no se sabe distinguir entre hacer ciencia, aprender ciencia y aprender sobre las ciencias.

Si se considera que las ciencias son cuerpos de conocimiento y metodología, que se han formado gracias a la labor constante de los científicos, y que los estudiantes no poseen ni el dominio de un cuerpo de conocimientos, ni la sofisticación teórica, ni la amplia experiencia del científico, entonces los planteamientos educativos que buscan que el estudiante aprenda ciencias partiendo de su propia experimentación, de forma exclusiva, están condenados al fracaso.

Para encontrar el lugar del trabajo práctico en nuestra enseñanza actual se debe tener una visión holística de la ciencia, y se debe considerar que la capacidad de hacer ciencia es una cosa distinta a tener destrezas en el laboratorio. Si hacer ciencia es una actividad holista, sólo se puede obtener experiencia de ella, aprenderla, enseñarla y evaluarla de manera holista. Barberá y Valdés enumeran cuatro objetivos que sólo pueden ser alcanzados mediante trabajos prácticos; ellos son:

- Proporcionar experiencia directa sobre los fenómenos
- Permitir la contrastación de la abstracción científica con la realidad, enfatizándose así la situación problemática del proceso de construcción de conocimientos
- Familiarizar a los estudiantes con importantes elementos de carácter tecnológico
- Desarrollar el razonamiento práctico

Lo que se pretende finalmente es que las actividades experimentales dejen de ser meras ilustraciones de los conocimientos transmitidos y pasen a constituir actividades de investigación (Gil y Valdés, 1996).

Cabe aclarar que, aún cuando se haya hecho hincapié en las ventajas de la enseñanza experimental, en ningún modo se supone que ésta es la única forma en que los alumnos deben aprender la *naturaleza de la ciencia*, pues resultaría un reduccionismo de la actividad científica.

Si se diferencia aprender ciencias y aprender a hacer ciencia, debemos ser conscientes de que los alumnos sólo aprenderán a hacer ciencia practicándola, siguiendo sus propias líneas de investigación, lo que les permitirá ver que la ciencia no es sólo fuertemente dependiente de la teoría, sino también de la práctica, y adicionalmente, mostrándoles que la ciencia es un proceso en el que existen métodos que dependen de circunstancias particulares.

Lo que Gil y sus colaboradores (2002) sugieren, es una metáfora en la que se considere al estudiante un “investigador novato”, pues, al igual que un investigador que recién llega a un grupo de trabajo, el alumno se puede poner al día rápidamente con respecto al nivel o a la metodología de trabajo del grupo. Y esto, como correctamente mencionan, no puede hacerse de forma transmisiva, sino trabajando en problemas en que sus compañeros son expertos. Este enfoque de investigación “guiada” donde el profesor toma el rol de experto, hace que los resultados obtenidos por estos investigadores puedan ser reforzados, complementados o cuestionados por otros miembros de “la comunidad científica”, es decir, sus compañeros de clase.

Gabel y Bunce (1994) explican la diferencia entre un experto y un novato, señalando que un novato no emplea mucho tiempo, si es que lo hace, en analizar y reestructurar el problema, tal y como lo hace un experto. En vez de ello, recurre rápidamente a una fórmula o a un algoritmo para empezar a hacer cuentas. Esta conducta puede agravarse por la falta de cohesión en la estructura del conocimiento del aprendiz. Para atender esta peculiar diferencia, se sugieren tres estrategias para que el experto lo auxilie:

- Incrementar la comprensión del estudiante sobre los conceptos que subyacen en los problemas
- Mostrarle explícitamente los pasos que se siguen para resolver un problema
- Ayudarle a construir relaciones entre los principios químicos, las investigaciones del laboratorio y las aplicaciones matemáticas de un tema dado

También se ha mencionado que, si se plantea una enseñanza que utilice investigaciones, es factible que los alumnos desarrollen competencias científicas tales como utilizar selectivamente la información, argumentar sus ideas,

interactuar e interpretar los datos, etc. (Fonseca y sus colaboradores, 2005). Este es el tipo de oportunidades que les permite convertirse en expertos en la metodología científica.

En este punto, Hodson (1992) enfatiza que “hacer ciencia” no debe ser reducido a poseer y utilizar habilidades, que pudieron ser adquiridas de cualquier forma. Por ejemplo, la observación depende de un marco teórico que hace posible dicha observación. Debe enseñarse el marco teórico junto con esta “habilidad”, pues de lo contrario, no se sabría en qué consiste observar mejor, es decir, observar más cosas, observar una con mayor profundidad u observar lo importante de un fenómeno podrían ser equivalentes entre sí. De tal manera, se observa que no hay habilidades independientes o transferibles de situación. Puede uno ser muy buen observador en la cotidianidad pero no en un fenómeno del laboratorio. No puede enseñarse que la ciencia es algo trivial.

De cualquier modo, la conclusión de estos y otros estudios es que el uso de investigaciones hace que el estudiante adquiera más habilidades, pero sobre todo, le enseña el verdadero proceso de hacer ciencia. Ahora resta saber cómo deben hacerse dichas investigaciones.

La figura 1 plantea un esquema sobre las investigaciones científicas que intenta evitar las visiones deformadas, y que, al mismo tiempo, considera todas las actividades que utilizan los científicos. Se seleccionó porque resulta útil para recordar los elementos que deben considerarse al plantear las investigaciones para los alumnos. Al mismo tiempo, guarda cierto paralelismo con las actividades prácticas que se utilizan en este trabajo de tesis.

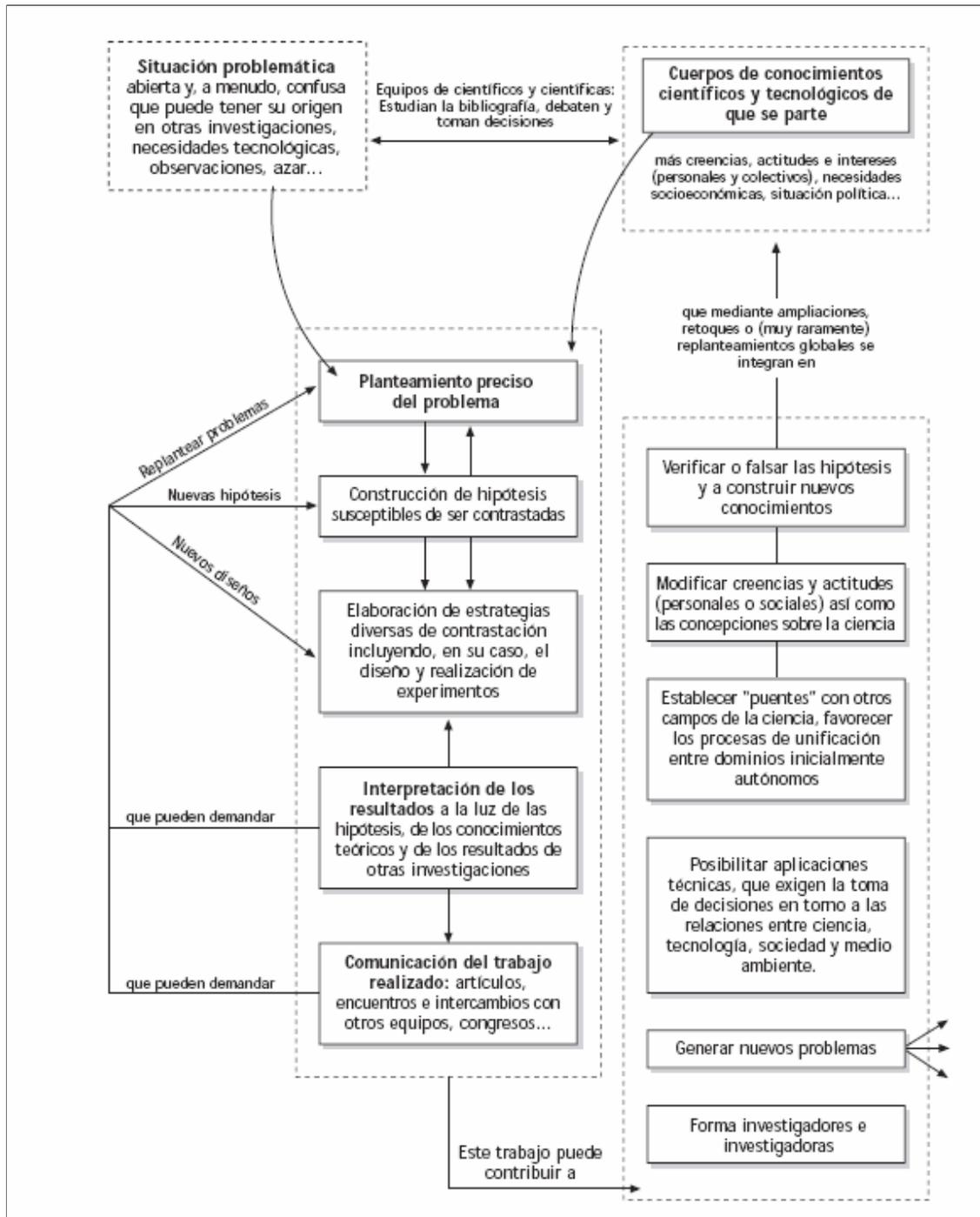


Figura 1. Un diagrama de la investigación científica. Propuesto por Gil, Macedo, Martínez, Sifredo, Valdés y Vilches (2005).

E) La alternativa de la indagación para la enseñanza de la *naturaleza de la ciencia*

Hay actualmente muchas propuestas didácticas que sugieren orientar el trabajo experimental hacia la *indagación*, con el objeto de que los alumnos conozcan el proceso para hacer ciencia.

En adelante, *indagación* quedará definida de acuerdo con el modelo desarrollado por el consejo de investigación estadounidense (NRC), que la propone como “una actividad multifacética que implica hacer observaciones, examinar libros y otras fuentes de información para ver lo que ya se conoce, planear investigaciones, revisar lo que se adquiere a la luz de la evidencia experimental, usar herramientas para recolectar, analizar e interpretar datos, proponer respuestas, explicaciones y predicciones, y por último, comunicar los resultados. Las actividades por indagación enfatizan el aspecto cualitativo de los fenómenos observados e involucran directamente a los alumnos, estimulándolos para observar, predecir y explicar fenómenos” (NRC, 1996).

Se trata de actividades abiertas, no necesariamente experimentales, en las cuáles los estudiantes se encuentran ante situaciones problemáticas, de las cuáles surgen preguntas que ellos mismos contestan mediante sus propias investigaciones. Los estándares estadounidenses sugieren el uso de pequeños grupos de trabajo, al igual que otros investigadores como Daniel Gil. En específico, los trabajos prácticos por indagación consisten en investigaciones que los alumnos hacen como consecuencia de una pregunta, misma que resulta de un experimento previo o de una situación problemática. Los alumnos entonces generan una hipótesis de trabajo, la cual es una respuesta tentativa a su pregunta de investigación, y de la cual derivan un diseño experimental. En el proceso ellos investigan, leen, miden, observan, comparten información, analizan resultados y concluyen sobre los mismos. La diferencia con otras propuestas de indagación,

que pueden basarse o no en los estándares estadounidenses, es el grado de apertura (o de libertad) que tienen las actividades para el estudiante.

AbuSharbain (2002) añade que este tipo de actividades mejora sustancialmente las habilidades y las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia. En el mismo sentido, Gil y sus colaboradores (2002), señalan que la investigación guiada incorpora aspectos clave de la actividad científica que habitualmente son ignorados en la enseñanza.

Desde el punto de vista de Avi Hofstein (2004), el trabajo experimental por *indagación* permite a los estudiantes desarrollar habilidades de investigación y habilidades para resolver problemas, además de promover en ellos actitudes positivas hacia el aprendizaje. Sin embargo, existen en la literatura pocas evidencias de que se utilice este tipo de trabajo en las escuelas.

“Los manuales del laboratorio suelen ser auténticos *recetarios*, que limitan la creatividad del alumno y que evitan que entienda el proceso de hacer ciencia” (Ludwig, 2000).

De acuerdo al grupo de trabajo de Daniel Gil, Para que un trabajo práctico, o un problema de lápiz y papel, tenga las características de indagatorio o de investigación, debe contemplar los siguientes aspectos:

1. Debe incluir problemas abiertos de un nivel de dificultad adecuados a la edad y curso
2. Tiene que pedir una reflexión sobre el posible interés que tenga el problema propuesto, para darle sentido a su estudio
3. Necesita un análisis cualitativo del problema que ayude a comprenderlo y a abordarlo
4. Solicita la emisión de una o más hipótesis, fundamentadas en los conocimientos disponibles

5. Debe plantear la elaboración de estrategias, incluyendo diseños experimentales
6. Realiza los análisis de los resultados a la luz del cuerpo de conocimientos disponibles y de las hipótesis planteadas
7. Considera las perspectivas posibles derivadas de la resolución del problema (es decir, nuevos problemas)
8. Solicita esfuerzos de integración de los estudios realizados a los cuerpos existentes de conocimientos
9. Presta atención a la comunicación de los resultados
10. Potencia la dimensión colectiva del trabajo científico, valorando el trabajo en equipo

La postura anterior, el modelo de enseñanza por investigación guiada de Daniel Gil y sus colaboradores, no utiliza en la práctica situaciones totalmente abiertas, ya que ellos consideran que los alumnos, siendo investigadores novatos, no encuentran del todo motivante encontrarse en situaciones donde no se sienten competentes y orientados. Por ello, siempre sugieren la presencia y guía del profesor en el desarrollo de las investigaciones. Aún cuando no se utilizará este modelo para esta investigación, resulta de gran interés saber cuáles son los elementos que ellos toman en cuenta para que, al diseñar las actividades experimentales por indagación, se pueda prestar atención a ciertas características indagatorias no especificadas por el consejo estadounidense de investigación.

Otros investigadores como Avi Hofstein (2004), utilizan como base los estándares estadounidenses ya citados; no obstante, hacen algunas modificaciones a las actividades, pues desarrollan sus trabajos prácticos por indagación utilizando diferentes etapas durante la sesión. La primera fase, llamada pre-indagatoria, es cerrada, pues el experimento se hace siguiendo instrucciones. La segunda fase es donde se involucra al estudiante, es abierta, y se le solicita al estudiante que repita o modifique la actividad previamente realizada. Con ello se logra la actividad metacognitiva.

El mismo Hofstein concluye que los estudiantes que realizan este tipo de actividades (por indagación) hacen más y mejores preguntas que aquéllos que no las efectúan, y desarrollan, además, la capacidad autocrítica aún en actividades no experimentales.

La propuesta experimental utilizada en esta tesis utiliza, en parte, las sugerencias de Hofstein, y pone particular interés en las características enumeradas por el grupo de trabajo de Gil; no obstante, se basan en las características descritas en los estándares estadounidenses. Es decir, se utilizan actividades abiertas, pero, en lugar de utilizar una etapa pre-indagatoria, como sugiere Hofstein, se utilizan sesiones en grados distintos de apertura.

Concretamente, se trata de actividades experimentales con un grado creciente de indagación, tal como sugiere la rúbrica indagatoria propuesta por Fay y sus colaboradores (2007), la cual puede apreciarse en la tabla 2, semejante a la rúbrica indagatoria propuesta por Herron (citado por Luis del Carmen, 2000). De acuerdo con ésta, los niveles de indagación de las actividades experimentales son los siguientes:

Tabla 2. Rúbrica de indagación de los trabajos prácticos

Nivel de indagación	Descripción
0	El problema, el procedimiento y los métodos para solucionarlo se le proporcionan al estudiante. El estudiante sólo realiza el experimento y verifica el resultado con el manual.
1	Al estudiante se le proporciona el problema y el procedimiento. El estudiante interpreta los datos para proponer soluciones viables.
2	Al estudiante se le proporciona un problema. Entonces él desarrolla un procedimiento para investigar el problema, decide qué datos recolectar, e interpreta los datos para proponer soluciones viables.

3	Al estudiante se le provee de un fenómeno “primitivo”, o una situación problemática “difusa”. El estudiante escoge entonces el problema para investigar, desarrolla un procedimiento para hacerlo, decide qué datos recolectar e interpreta los datos para proponer soluciones viables.
---	---

Propuesta por Fay, Grove, Towns y Bretz (2007)

Considerando estos niveles de indagación, se propone una secuencia de trabajos prácticos que considere un orden creciente en las investigaciones, lo cual debe permitir al alumno sentirse más cómodo y orientado, así como mucho más participe de su formación. Este tipo de trabajos serán, entonces, los que se emplearán como medio para enseñarles a los estudiantes elementos de la *naturaleza de la ciencia*.

Tomando en cuenta las palabras de Vázquez Alonso (2007), es imposible pretender que esta secuencia, y aún una secuencia mucho más prolongada y que haga uso de otro tipo de estrategias, brinde una noción completa sobre la *naturaleza de la ciencia*; no obstante, si se hace uso de propuestas didácticas que se basen en consensos sobre temas sociológicos y epistemológicos, dichas propuestas tendrán un valor educativo muy importante, puesto que de cualquier forma, cualquier noción que se de sobre este complejo concepto, será limitada y parcial.

“Ofreciendo una experiencia científica genuina, “sin barnizar”, un curso de laboratorio puede hacer de un estudiante un mejor observador, un pensador más cuidadoso y preciso, así como un solucionador de problemas más eficiente. Y de eso se trata la Educación”

M. Pickering, 1980

Capítulo 3

Metodología

Metodología

Dejando establecido el marco referencial en el cual se basa esta investigación, se explicará con detalle la metodología seguida para la obtención de resultados, los cuales procederán de dos fuentes distintas: por una parte, la secuencia de los tres trabajos prácticos por indagación, y por otra, los instrumentos (cuestionarios) aplicados para obtener las ideas de los estudiantes acerca de la *naturaleza de la ciencia* antes y después de una intervención con el grupo de trabajo.

Resulta complejo hablar de una metodología para conocer cuáles son las ideas que los estudiantes han modificado sobre la *naturaleza de la ciencia* luego de una secuencia de actividades experimentales, debido, como ya se ha mencionado, a que los mismos científicos no se han puesto de acuerdo acerca de si existe o no una noción consensuada sobre tal concepto. Esto no debe resultar sorprendente, puesto que los científicos se preocupan poco de los aspectos históricos o filosóficos de su actividad, pero eso no significa que desconozcan los elementos que distinguen a la ciencia de otro tipo de conocimientos.

También aparece la necesidad de señalar cuáles son los aspectos del concepto que nosotros, profesores de ciencia, creemos que son susceptibles de modificación con la aplicación de unos trabajos prácticos por indagación y durante un solo semestre escolar.

Adicionalmente, desarrollar o implementar un instrumento de evaluación sobre *naturaleza de la ciencia* es complicado, puesto que difícilmente se pueden integrar todos los aspectos inherentes a esta idea dentro de un solo cuestionario o actividad.

Sabiendo todo ello, en esta sección se indicarán las decisiones tomadas para escoger los instrumentos, así como los reactivos de los mismos, que llevaron a la

obtención de los resultados. Es claro entonces, que la información que se obtiene debe interpretarse considerando dichas acotaciones.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar si el uso de una estrategia específica, la actividad experimental por indagación, puede lograr cambios significativos en algunos aspectos de la concepción que los alumnos tienen sobre la *naturaleza de la ciencia*, basándose en el modelo de ciencia y en el modelo educativo empleado por el consejo estadounidense de investigación (National Research Council, o NRC), en sus estándares estadounidenses para la educación de las ciencias. Previamente, se estableció en el marco teórico qué se entiende por *naturaleza de la ciencia* con este modelo y cuáles son las características que se consideraron en el diseño de una actividad experimental por indagación.

Aún cuando en la investigación en didáctica hay muchas líneas de trabajo para abordar el concepto de la *naturaleza de la ciencia*, tales como el aprendizaje basado en problemas, las secuencias didácticas o la realización de investigaciones guiadas, se eligió la indagación como vía de aprendizaje dado que algunos investigadores como Hofstein (2004), o el mismo consejo estadounidense de investigación (NRC, 2000), la proponen como el mejor camino para acercar a los estudiantes al quehacer de un científico.

La metodología empleada consta de los siguientes pasos:

A) Selección de un instrumento que evalúe las ideas de los alumnos sobre la *naturaleza de la ciencia*, y la aplicación inicial de éste a dos grupos de bachillerato

Como primer paso fue necesario encontrar cuestionarios que evaluaran las ideas que los alumnos tienen sobre la *naturaleza de la ciencia*, considerando tanto los instrumentos que se basan en el modelo estadounidense, como aquéllos que tienen otro tipo de concepción. Dado que la mayoría de los cuestionarios

encontrados estaban escritos en el idioma inglés, surgió la necesidad de hacer una traducción de los mismos para poder utilizarlos con los grupos de bachillerato.

En la literatura existen diferentes cuestionarios sobre dicho concepto. Algunos de ellos, como los elaborados por el grupo de trabajo de Vázquez Alonso (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2003), aunque están validados y cuentan con un amplio marco referencial que ayuda a analizar los resultados, son muy extensos y no son muy accesibles para el estudiante de bachillerato, puesto que cuentan con una larga serie de enunciados y una escala de respuestas muy amplia, lo cual hace que el estudiante tenga que dedicar demasiado tiempo a contestar este cuestionario.

Otros estudios, como los de Lederman y sus colaboradores (2002), también tienen disponibles algunos instrumentos para evaluar las ideas de *naturaleza de la ciencia* que tienen los alumnos, y cuentan con su respectiva selección de ideas “de personas informadas” sobre el concepto para interpretar los resultados; no obstante, en este caso, sus cuestionarios constan de preguntas abiertas, lo cual hace que el análisis requiera de estudios cualitativos y de un mayor tiempo para el análisis, en la inteligencia de que la interpretación de las frases que los estudiantes contestan no es un asunto trivial, y pudiera considerar el uso de entrevistas.

Uno de los cuestionarios que realizó este grupo de trabajo, fue aquél desarrollado por Bell y otros (2001), que consiste en una encuesta con aseveraciones sobre *naturaleza de la ciencia*, la cual emplea una escala de Likert para contestarse, es decir, una escala cuya graduación permite establecer el grado de compromiso o acuerdo que una persona tiene con una determinada premisa (anexo A). Este instrumento contiene, además, una indicación final para que al alumno dibuje o describa a un científico después de la encuesta. Este cuestionario en particular, además de ser breve, permitía obtener con la pregunta abierta, la imagen de un científico que los alumnos han elaborado con el paso del tiempo. Esta fue la razón

por la que fue seleccionado para la elaboración del instrumento de este trabajo. Cabe mencionar que los autores de este instrumento no sugieren ni utilizan la indagación para evaluar las ideas sobre *naturaleza de la ciencia*; sin embargo, nos pareció útil emplearlo porque consideramos que la indagación es una herramienta eficaz para que los alumnos lleguen a tener “ideas de personas informadas”, tal como el documento anexo al cuestionario propone.

El instrumento descrito fue utilizado en una prueba piloto con un grupo de 23 estudiantes de quinto semestre, pertenecientes al Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel sur, en la materia de química III, durante la práctica docente II de la maestría.

En esta prueba piloto, se aplicó el cuestionario mencionado a principios del curso escolar. Posteriormente, se realizó con el grupo una sesión de trabajo práctico por indagación (sobre el tema de la rapidez de las reacciones químicas), y al término de esta sesión se volvió a aplicar el cuestionario para observar si existían diferencias entre las respuestas de antes y después de la indagación. En la inteligencia de que en una sesión por indagación es muy difícil notar algún cambio, el instrumento se aplicó dos veces únicamente para apreciar la congruencia entre las respuestas de antes y después de la intervención.

Si bien esta prueba piloto no permitió obtener algún resultado concreto que aceptara o refutara la hipótesis de trabajo, es decir, que el uso de los trabajos prácticos por indagación mejora la adquisición de algunos aspectos del concepto de la *naturaleza de la ciencia*, sí brindó información importante al respecto del instrumento: algunas de las aseveraciones resultaban ambiguas o incomprensibles para los alumnos, lo cual ocasionaba que no estuvieran ni de acuerdo ni en desacuerdo con ellas. La pregunta abierta, en la cual se les pedía describir al científico o dibujarlo, por otra parte, resultó una buena fuente de resultados para apreciar las diferentes visiones deformadas de la ciencia que han

adquirido con el transcurso de los años, no sólo mediáticamente, sino por la misma instrucción formal.

El segundo instrumento que se seleccionó para elaborar el cuestionario definitivo, es el elaborado por Good, Cummins y Lyon (2000). Esta decisión se basó en dos factores primordiales: en primer término, las aseveraciones de los reactivos estaban obtenidas directamente del primer capítulo del documento “Ciencia para todos los estadounidenses” (Rutherford y Ahlgren, 1989), lo cual permite tener una referencia sólida y congruente para la evaluación, y en segundo término, el instrumento consiste en un cuestionario que se contesta con una escala de Likert con dos opciones (anexo B), lo cual implica una mayor facilidad para obtener resultados cuantitativos que las preguntas abiertas.

Habiendo seleccionado ya los cuestionarios que se consideraron más útiles, se tradujeron y se adaptaron algunos elementos de ambos para obtener el producto final.

El instrumento elaborado, consiste en aseveraciones sobre la *naturaleza de la ciencia* que se contestan utilizando una escala de Likert, y cuenta también una pregunta abierta para que el estudiante pueda describir o dibujar lo que considera que es un científico (anexo C). Es, por tanto, un instrumento basado tanto en el cuestionario de Good y sus colaboradores, como en el de Bell.

Se decidió ampliar la escala utilizada en el documento original de Good y sus colaboradores de dos a cinco opciones, porque ello permite que los alumnos tengan un espectro más amplio para contestar, y, que incluso, puedan no tener una opinión positiva o negativa sobre la aseveración que están calificando. Judith Bell (2005), al respecto del diseño de un cuestionario, opina que siempre tiene que haber cualquier respuesta posible de una persona en un reactivo, razón por la cual se añade la opción “ni de acuerdo, ni en desacuerdo”, a sabiendas de que los

alumnos podrían utilizarlo con frecuencia para no pensar demasiado en su compromiso con las aseveraciones.

También se optó por añadir la pregunta abierta del cuestionario de Bell, sólo para poder comparar la congruencia de los resultados de las afirmaciones con las imágenes que los alumnos tienen respecto a los científicos.

Este cuestionario se aplicó al inicio del semestre a dos grupos de la asignatura de química IV, del mismo turno y plantel (Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel sur, turno matutino). Los grupos eran aproximadamente iguales en cuanto al número y al perfil de sus alumnos (refiriéndome con ello a que son grupos de alumnos no repetidores y aproximadamente iguales en aprovechamiento). El cuestionario se aplicaría en una segunda ocasión, pero ese paso será tratado más adelante.

El grupo 612 fue el grupo control, y fue seleccionado no sólo por las semejanzas con nuestro grupo de trabajo, en cuanto a turno, asignatura, desempeño académico y número de gente, sino por las características de su profesor. Dicho maestro fue coordinador del área de ciencias experimentales del colegio y goza de una buena reputación entre sus pares y alumnos. Esta característica sobre cualquier otra, es la que se consideró importante para poder comparar los resultados de ambos grupos. Este grupo constaba de 23 alumnos regulares; sin embargo, se tomaron en cuenta solamente 20 alumnos en la investigación (7 hombres y 13 mujeres, entre los 17 y los 18 años) puesto que fueron aquéllos que respondieron el cuestionario sobre *naturaleza de la ciencia* en las dos aplicaciones (al inicio y al final del curso). Las actividades experimentales que se realizaban en el grupo de trabajo, y que fueron consideradas como “enseñanza tradicional”, son las propuestas en los manuales del colegio (Rojano y Pinelo, 1999; Razo y colaboradores, 2002), las cuales, son prácticas de laboratorio comunes, de tipo “receta”, como las descritas en el marco teórico. El profesor colaboró con nosotros con el conocimiento de que estábamos probando una nueva estrategia didáctica;

no obstante, no se le informó al respecto de los objetivos de la investigación para evitar un posible sesgo.

Por otra parte, el grupo de trabajo o experimental, fue el grupo 618, con el cual se realizaba la tercera práctica docente, cuya titular fue la profesora Nadia Méndez Vargas. De igual forma, aún cuando el grupo tenía 23 alumnos regulares, se consideraron sólo 20 estudiantes (12 hombres y 8 mujeres, de entre 17 y 18 años de edad) por la misma razón expuesta en el grupo control.

B) Diseño y aplicación de tres trabajos prácticos por indagación en el grupo de trabajo

A partir de la aplicación de los cuestionarios, que es común a los dos grupos, es cuando ya comienza la intervención en el grupo de trabajo, con una serie de tres actividades prácticas por indagación sobre temas basados en el programa de química IV del colegio.

Al inicio de este ciclo escolar (sexto semestre), los estudiantes han tenido ya asignaturas experimentales, por lo cual conocen algunas técnicas y casi todo el material de laboratorio disponible; sin embargo, los alumnos del grupo con el cual se trabajó, casi nunca tuvieron la oportunidad de realizar su propio diseño experimental. Aún cuando no se tienen elementos para generalizar que esto ocurra con todos los grupos del colegio, se considera difícil que muchos grupos hayan tenido experiencias con actividades experimentales abiertas. Es por eso que se decidió que los trabajos propuestos debían tener un grado de apertura creciente, que permitiera a los estudiantes acoplarse al nuevo sistema de sesiones experimentales.

Los tres trabajos diseñados constituyen una secuencia, aún cuando no se aplicaron uno inmediatamente después del otro. Si bien tienen la misma estructura, el segundo trabajo tiene un mayor grado de apertura respecto al

primero, pues ya considera un diseño experimental propuesto por los alumnos, y el tercero es aún más abierto que el segundo, ya que en este último trabajo, los estudiantes proponen su pregunta de investigación, su diseño experimental y analizan sus resultados. En cada actividad, los estudiantes van incorporando nuevas habilidades y procedimientos que adquirieron en sesiones anteriores. De esta forma van haciendo suya esta forma de trabajar. Si bien existen profesores que prefieren que las actividades sean siempre abiertas en su totalidad, en esta investigación se consideró que hacerlas en secuencia con apertura creciente podría ayudar a los estudiantes a no desorientarse.

Cada una de las tres actividades por indagación requiere que los alumnos hagan una investigación bibliográfica sobre el tema respectivo. En todas ellas, los estudiantes trabajan en equipo y, justamente por equipo, realizan un diseño experimental y hacen un informe con una hoja que se les proporciona al inicio de cada sesión. Cada una de estas sesiones se puede encontrar en los anexos D, E y F, respectivamente. En el capítulo siguiente se hará una revisión de un ejemplo de los informes entregados en las tres sesiones experimentales.

- Primer trabajo práctico de la secuencia

El primer trabajo por indagación (anexo D) corresponde al tema de ésteres, ubicado en la unidad de la industria petroquímica del programa del colegio. Uno de los objetivos de la unidad didáctica es que los alumnos conozcan las características principales de los grupos funcionales más importantes, y, dentro de éstos, se encuentran los ésteres. Se estudia aproximadamente a la mitad del semestre.

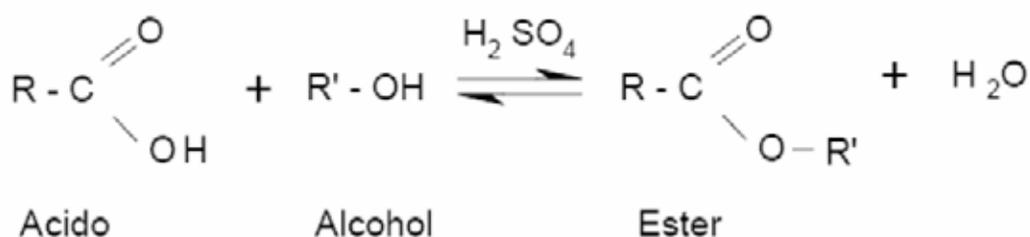
Existen algunas actividades experimentales sugeridas para el tema en los manuales de laboratorio del colegio. Una de ellas es la formación de ésteres por medio de la reacción de un ácido carboxílico y un alcohol, llamada esterificación

de Fischer. Esta actividad suele ser muy exitosa con los alumnos, debido a su relativa simplicidad y a los aromas que los ésteres resultantes despiden, así que el uso de ésta entre los profesores de la asignatura es generalizado.

La primera propuesta experimental no se basa en seguir la actividad tal como aparece en los manuales. En realidad consiste en una sesión guiada, donde los mismos alumnos van proponiendo elementos que investigaron previamente sobre la elaboración de ésteres (usando el método de Fischer), para poder elaborar un éster dentro del salón de clases. De esta forma, son ellos mismos quienes van aportando ideas a la clase y quienes ayudan a sugerir la mejor manera de efectuar un experimento. Por ejemplo, mediante una discusión, pueden sugerir cuál es la mejor manera de calentar las sustancias, ya que se trabaja con sustancias inflamables. Trabajando de este modo, se pueden incorporar conocimientos que adquirieron en sus cursos pasados. Además, cuando los alumnos saben que sus opiniones están considerándose en el diseño experimental, suelen sentirse más seguros al externarlas.

Es importante señalar que el profesor debe tener muy clara la técnica experimental propuesta en los manuales, así como la teoría detrás de la esterificación de Fischer, ya que es él quien debe llevar las sugerencias de los estudiantes hacia un diseño experimental efectivo. De igual forma, debe poner a debate las ideas que no resulten tan adecuadas, buscando que sean los mismos alumnos quienes descarten un procedimiento o una sugerencia propuesta utilizando argumentos que convencan a los demás. Este tipo de ejercicios son los que permiten que el alumno comience a reflexionar el por qué hacer algo o no, en todos los pasos de su diseño. Después de una demostración hecha por el profesor, en la cual se monta un experimento justo como se consensuó en la clase, cada equipo debe elaborar dos ésteres con los materiales y sustancias disponibles en el laboratorio.

La técnica que se propone es el calentamiento de un ácido carboxílico y un alcohol añadiendo unas gotas de un ácido inorgánico concentrado (puede ser sulfúrico o fosfórico, por ejemplo) en un baño maría. Como muestra la ecuación siguiente, la reacción presenta un equilibrio, el cual se puede perturbar para favorecer la formación del producto (el éster), si se añade uno de los reactivos en exceso (normalmente es el alcohol por su disponibilidad y costo).



Las técnicas experimentales sugieren el uso de un refrigerante para un reflujo, ya que, debido al calentamiento prolongado, se puede perder rápidamente uno de los reactivos. Muchos profesores evitan el uso de un refrigerante tapando el tubo de ensayo con algodón. Lo que se sugiere es utilizar un tapón para tubo horadado y un tubo muy delgado de vidrio, o una pipeta beral cortada (como se indica en el anexo D), para tener un refrigerante improvisado que no tenga un costo importante ni tampoco mucho peso para el tubo de ensayo. De cualquier forma, en este grupo se utilizaron las dos maneras de tapar los tubos, para comprobar qué tan efectiva era la sugerencia.

Como aclaración, en los resultados obtenidos no se mostraron grandes diferencias entre los ésteres elaborados en tubos con tapones y refrigerante y aquéllos obtenidos en tubos tapados con algodón. De cualquier forma, se considera interesante que los alumnos conozcan el reflujo como un procedimiento más en el laboratorio.

En esta actividad, además de conocer y usar técnicas como el reflujo, o el saber cómo el exceso de un reactivo puede desplazar el equilibrio (justo como lo haría

una práctica de laboratorio ordinaria), se fomentan habilidades de investigación, tales como la comunicación de los datos buscados, cuando se hace la discusión en el grupo, o la reflexión en los pasos del diseño experimental, cuando contestan sus cuestionarios. También se da importancia a la precaución en el trabajo y al manejo de las sustancias y materiales del laboratorio.

Es muy importante, en este primer trabajo, que los alumnos noten que no siempre la información que uno localiza en libros o en la red es suficiente para poder llevar a la práctica un determinado experimento, puesto que en ellos suele aparecer sólo la teoría y no la “receta”. Asimismo, es importante que aprecien la trascendencia del tiempo ocupado en leer e investigar, puesto que los científicos pasan muchas horas en estas actividades.

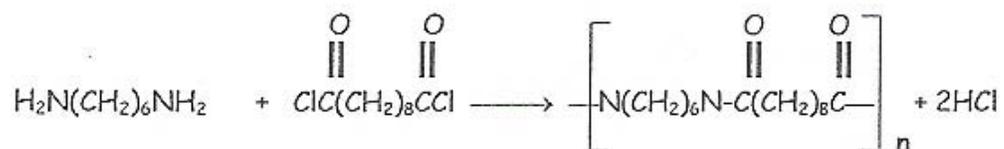
Así como en el resto de las investigaciones, los estudiantes toman conciencia de que requieren ciertos conocimientos adquiridos previamente que le den sentido a los nuevos elementos investigados, y que se necesita de una discusión con otros “investigadores” para poder llegar a un diseño experimental más efectivo.

Adicionalmente, en esta actividad los alumnos deben contestar por equipo, y durante la misma sesión de trabajo experimental, un cuestionario (anexo D) que se les entrega después de la demostración, y que permite que reflexionen sobre su trabajo y que generen oportunamente las dudas que les ayuden en su diseño experimental. De esta forma, se da por finalizada la primera sesión por indagación.

- Segundo trabajo práctico de la secuencia

Posteriormente, se realizó un segundo trabajo práctico por indagación (anexo E) acerca de la elaboración de un polímero por condensación, el nylon 6-10. Esta actividad se realiza, aproximadamente, un mes antes de finalizar el curso escolar, debido a la ubicación del tema en el programa del curso. Dicho tema se localiza en la unidad didáctica sobre polímeros, la cual es la segunda y última del programa.

Como una breve descripción de la actividad, para quien no está muy familiarizado con ella, se puede decir que se trata de un experimento sencillo en el que se forma un polímero por condensación mediante el uso de dos disoluciones. Una de ellas es una disolución básica de hexametildiamina, y la otra es una disolución de cloruro de sebacoilo (conocido también como cloruro de sebacilo) en hexano al 4% en volumen. La reacción que se efectúa es la siguiente:



La disolución de hexametildiamina se pone en un vaso de precipitados y, muy lentamente, se agrega sin agitar la otra disolución. Se debe notar la presencia de una interfase entre ambas disoluciones. En esta interfase es donde se forma el polímero, y se puede tomar con ayuda de una pinza de disección, donde se apreciará visiblemente la membrana del nylon.

Solamente como aclaración, diremos que la polimerización por condensación es aquella donde, junto con el polímero, se produce una sustancia de baja masa molar, como el agua o el ácido clorhídrico, como en este caso. Se obtiene en esta actividad el nylon 6-10, llamado así por el número de átomos de carbono que tiene el monómero: 6 átomos de carbono de la hexametildiamina y 10 átomos de carbono de la cadena del cloruro de sebacoilo.

En esta actividad, además de no contar ya con una demostración previa del experimento, los estudiantes se enfrentan a una administración de recursos. Los reactivos que se les proporcionan son limitados, y por tanto, su diseño experimental debe considerarlo. De igual manera, cuentan con un cuestionario (anexo E) que los puede ir guiando para reflexionar sobre lo que necesitan definir antes de empezar su experimentación.

La actividad no presenta muchas dificultades en su realización, puesto que el polímero es relativamente fácil de elaborar; sin embargo, ellos empiezan a ser conscientes de las implicaciones que tienen las decisiones que toman respecto a sus diseños. Poniendo un ejemplo, los estudiantes toman conciencia de que si utilizan todo su reactivo en dos pruebas únicamente, y no logran obtener el polímero, no pueden ya hacer pruebas posteriores.

Como en esta ocasión los alumnos ya están solos en la parte del diseño de su propio experimento, es importante hacer notar que el profesor debe estar más atento en sus actividades y en el material que solicitan. Asimismo, es recomendable que los alumnos, ya integrados en un equipo, expongan brevemente los experimentos que piensan realizar, para que puedan escuchar lo que realizan sus pares, y sobre todo, para que precisen lo que están a punto de hacer.

Por último, se vuelve a hacer un énfasis en la seguridad en el trabajo de laboratorio. Se les da la información y el material necesario para que manipulen con precaución las sustancias y el equipo.

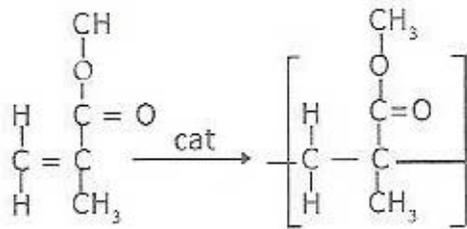
- Tercer trabajo práctico de la secuencia

Como tercer y último trabajo por indagación, se propuso que los alumnos elaboraran un polímero por adición: el polimetacrilato de metilo o PMMA (por sus siglas en inglés), a partir de metacrilato de metilo y un agente iniciador.

Esta actividad se realizó dos semanas después del trabajo anterior, es decir, dos semanas antes de finalizar el ciclo escolar.

Esta actividad se presenta en manuales del colegio indicando con precisión las cantidades de los reactivos, la temperatura requerida y el papel de cada una de las sustancias que participan en la reacción. Consiste en la formación del polímero

agregando una pequeña cantidad de iniciador (el peróxido de benzoílo) al metacrilato de metilo, y calentando esta mezcla de reacción a baño maría. La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Para que se pueda realizar una polimerización por adición se requiere de una sustancia iniciadora que, en ocasiones, se trata de una sustancia que al descomponerse forma radicales libres. En este caso se utilizó el peróxido de benzoílo.



La actividad propuesta, mucho más abierta que las dos anteriores, implica que los estudiantes tengan consigo sólo la información que obtuvieron de su investigación bibliográfica, y que hagan un diseño experimental haciendo uso de ella. Al igual que la vez anterior, tienen una cantidad limitada de reactivos, por lo cual su diseño debe considerar pocas cantidades.

Una innovación respecto a la actividad experimental anterior consiste en una plática con los alumnos, previa a la sesión experimental, donde se discute el manejo de variables en un experimento.

Esta plática comienza con la obtención de las ideas de los estudiantes sobre variables dependientes e independientes, parámetros que permanecen fijos en un experimento, y las mediciones respectivas que resultan de todo el proceso. Una vez que se obtienen estas ideas, el profesor orienta la discusión hacia el correcto

manejo de las variables. Concretamente, se les plantea un ejemplo alternativo, utilizando una de las sesiones anteriores, por ejemplo, se discutió con ellos el trabajo sobre esterificación, indicándoles las variables empleadas en dicha actividad, para que tuvieran claro que existe una o más variables que pueden modificar (variables independientes), otras que se ven alteradas o modificadas por las variables independientes, que son las que se observan y se miden (variables dependientes) y, por último, que existen parámetros que permanecen constantes durante todo el experimento, y que muchas veces no han considerado de forma consciente.

Después de esta plática se les invita a discutir en equipo acerca de cuál sería su diseño experimental. Las variables que pueden escoger permiten que cada equipo pueda probar algo distinto experimentalmente. En esta actividad dan importancia no sólo al control de parámetros sino a los estudios rigurosos para la obtención de resultados.

Al igual que en las sesiones anteriores, los alumnos comparten sus diseños experimentales y sus resultados, haciendo públicos tanto sus logros como sus errores durante la práctica. Idealmente la sesión pretende cerrar con el planteamiento de una nueva investigación sobre el mismo polímero o sobre algún otro, pero cambiando las variables controladas.

C) Aplicación final del instrumento a los dos grupos

Una vez que se terminó la tercera actividad por indagación, se vuelve a aplicar el mismo instrumento de *naturaleza de la ciencia* (anexo C) que se aplicó al inicio, tanto al grupo de trabajo (618) como al grupo de control (612). El grupo de control, durante todo el semestre, estuvo trabajando de forma tradicional el programa del Colegio.

Aún cuando lo recomendable es utilizar un cuestionario distinto que utilice reactivos “espejo” (es decir, que midan lo mismo), se decidió utilizar el mismo instrumento debido a que han transcurrido cuatro meses entre la primera y la segunda aplicación, por lo cual no se consideró que existiera una “contaminación” producida por la aplicación previa del mismo cuestionario. Además, la repetición permite una mejor contrastación entre los resultados de los grupos al inicio y al final de la secuencia.

El objetivo de hacer la nueva aplicación es recabar datos para poder afirmar si la secuencia de trabajos por indagación acerca más o no a los alumnos al conocimiento de la *naturaleza de la ciencia*.

Se aplicó durante la última semana del ciclo escolar 2007-2, y, con ello, se dio por terminada la intervención con los alumnos para poder hacer la recolección y la interpretación de los datos.

D) Interpretación de los resultados

Como ya se indicó al inicio de este capítulo, existen dos fuentes de resultados. Por una parte, los informes y las evaluaciones presenciales de los trabajos prácticos aplicados al grupo 618 y, por otra parte, los instrumentos que se aplicaron antes y después a ambos grupos.

De los informes de las actividades experimentales es posible hacer algunas afirmaciones que, aunque con cierto grado de subjetividad, permiten apreciar algunos avances en los muchachos durante la secuencia completa.

El análisis de los resultados de los instrumentos resultó un poco más complicado. No sólo había que comparar el progreso de cada grupo con respecto a sí mismo, sino que también había que comparar los resultados de los grupos entre sí.

Para evaluar las ideas relativas a la *naturaleza de la ciencia* es necesario observar cada reactivo del cuestionario por separado; sin embargo, se ha destacado ya, que para obtener este concepto hace falta una intervención más prolongada así como otro tipo de estrategias didácticas. Esta fue la razón por la cual, junto con la tutora de la investigación, se decidió seleccionar únicamente diez reactivos para comparar el progreso obtenido por el grupo de trabajo. Si bien los dos grupos contestaron a todo el cuestionario, nuestra atención se centró exclusivamente en las diez aseveraciones que se consideraron susceptibles de modificación con la intervención experimental. Dichas aseveraciones fueron las presentadas en los reactivos 1, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 19 del cuestionario (diez en total), y son:

- 1. Los científicos suponen que los eventos que ocurren en el universo siguen patrones o tendencias que pueden conocerse mediante estudios cuidadosos y sistemáticos*
- 3. Para la ciencia es preferible modificar las ideas en lugar de rechazarlas rotundamente*
- 7. No existen pasos fijos que los científicos siguen para llegar a su conocimiento*
- 8. Tarde o temprano, la validez de las aseveraciones científicas se establece gracias a las observaciones y/o mediciones que se hacen de los fenómenos*
- 9. La experimentación donde sólo se cambia un parámetro a la vez no es posible en algunas áreas de la ciencia*
- 10. Una hipótesis que no puede ser puesta a prueba no puede ser científicamente útil*
- 11. Inventar ideas acerca de cómo funciona el mundo es tan creativo como escribir poesía o componer música*
- 12. Las teorías científicas deben sonar lógicas y deben usar una cantidad importante de observaciones válidas*
- 13. Los científicos generalmente trabajan solos mientras tratan de entender el mundo*
- 19. La palabra “teoría” en ciencia significa una “corazonada” o una suposición acerca de cómo funciona una parte del mundo*

Éstos parecieron ser los enunciados que más cercanos estaban al trabajo experimental por indagación; no obstante, es claro que algunos de ellos, como en el caso del que trata sobre las teorías, o aquél que trata sobre la creatividad, hay más estrategias didácticas que pueden abordarlos. Aún cuando se iba a tener especial interés en estos reactivos, se decidió utilizar el cuestionario completo, para darse una idea más general sobre lo que los estudiantes piensan sobre la ciencia, habiendo trabajado directamente sobre todos los reactivos o no.

Adicionalmente, había que analizar las respuestas obtenidas de la pregunta abierta hecha al final del cuestionario, que implicaba también una forma distinta de capturarlas y examinarlas.

Se elaboraron una serie de tablas resumen de los resultados (anexo G), mismas que sirvieron para hacer acotaciones cualitativas y describir algunas semejanzas y diferencias entre los grupos. Sin embargo, para determinar si la secuencia experimental tiene un mejor efecto en las ideas de los alumnos sobre la *naturaleza de la ciencia*, es necesario hacer un estudio estadístico, con el fin de concluir si existe o no evidencia para decir que el método experimental utilizado es más efectivo que el tradicional para enseñar una idea determinada, refiriéndose con ello, a cada uno de los reactivos seleccionados sobre la *naturaleza de la ciencia*. Las pruebas estadísticas empleadas para este fin, aunque muy básicas, sirven para poder hacer un mejor análisis de los resultados, y consistieron en un estudio del “tamaño del efecto” de la intervención experimental sobre los alumnos, y en una prueba de diferencia entre dos proporciones utilizando el estadístico *t* de *student*.

Cabe recordar que el objetivo de la tesis es caracterizar las ideas de los estudiantes sobre *naturaleza de la ciencia* con una nueva forma de trabajo experimental, por lo cual, el estudio estadístico no resultó muy extenso. Aún así, se sabe que, dadas las características de las muestras y del tipo de instrumento

empleado para evaluar, las pruebas estadísticas deben ser no paramétricas. No obstante, la selección de un mejor instrumento de evaluación, así como un análisis estadístico óptimo para dicho instrumento, quedarán como nuevos problemas a resolver para esta línea de investigación.

Habiendo explicado la metodología que se siguió para la recopilación de los datos, en los capítulos siguientes, se mostrarán y discutirán los resultados obtenidos.

Capítulo 4

Resultados

Resultados

Desde la introducción de esta investigación, se ha enfatizado que para que los estudiantes aprendan sobre las principales ideas de la *naturaleza de la ciencia*, no basta exclusivamente con la enseñanza experimental, pues sería tanto como reducir la actividad científica a la experimentación. Lo que se propone en la hipótesis de este trabajo es que, mediante el uso de trabajos prácticos por indagación, los alumnos aprenden más elementos sobre la *naturaleza de la ciencia* que mediante otro tipo de enseñanza experimental, como la enseñanza tradicional con trabajos prácticos que constan de protocolos rígidos.

Para analizar los resultados obtenidos, se decidió dividirlos en tres secciones. Primeramente, se hizo un análisis del desempeño de los alumnos en la secuencia de trabajos prácticos; en segundo término, se revisaron las respuestas cerradas de los cuestionarios y se hizo la comparación entre los grupos, antes y después de la intervención con ellos; por último, se hizo el análisis cualitativo de la pregunta abierta contenida en el cuestionario.

Dado que la evaluación de una actividad experimental también considera las actitudes y habilidades de los alumnos en el laboratorio, y no únicamente sus informes escritos, puede justificarse el hecho de que parte de los resultados aquí descritos se hayan observado directamente en el aula y, por tanto, tengan una cierta carga de subjetividad. No obstante, en lo posible, las conclusiones se basaron en los informes que los alumnos entregaron, así como en los cuestionarios.

A) Resultados obtenidos de los tres trabajos prácticos por indagación

En el primer trabajo experimental, referente a la esterificación, los alumnos se mostraron muy interesados e involucrados en la nueva dinámica de trabajo. No

sólo investigaron en libros y participaron en la discusión, tal como se les solicitó, sino que se sentían partícipes del diseño experimental porque muchas de sus sugerencias fueron empleadas para la demostración frente a todo el grupo. Más allá de la adquisición de contenidos conceptuales, los alumnos desarrollaron contenidos procedimentales, como su montaje experimental o la representación simbólica de la reacción que hicieron, y contenidos actitudinales, como la tolerancia y el respeto a las ideas de los demás o la honestidad al momento de informar sus resultados.

Las investigaciones previas de los alumnos del grupo de trabajo tuvieron un grado satisfactorio de calidad, gracias a lo cual, todos los pormenores para diseñar el experimento que les llevara a obtener un éster, fueron surgiendo mediante la interacción entre alumnos y profesor. Sólo se tuvo que intervenir para ayudarles a comprender el uso de un exceso de uno de los reactivos como medida para desplazar el equilibrio. Sin embargo, aspectos como la forma de calentar los reactivos, el uso de perlas de ebullición, el uso de un ácido inorgánico como catalizador, el olor posible resultante, o la inmiscibilidad en agua de los ésteres, surgieron de los alumnos que participaban utilizando sus investigaciones previas.

En este sentido, es importante mencionar que no se consideró una posible “contaminación por indagación verbal”, que puede estar presente en las actividades experimentales de este tipo. Esto significa que los alumnos pudieron informarse directamente con sus compañeros u otros profesores de la asignatura acerca de cuál es el método experimental que debe emplearse. Este hecho puede hacer que las discusiones no tengan el efecto deseado, pues no hay una discusión de alternativas, sino que se llega rápidamente al diseño esperado.

En este primer trabajo en particular, como el diseño experimental estuvo guiado en la primera parte de la sesión, hubo pocos problemas al momento de la experimentación por parte de los equipos; no obstante, no dejaron de existir confusiones en los alumnos, por ejemplo, un equipo utilizó un ácido inorgánico en

sustitución de un ácido carboxílico como reactivo. Considero que esta situación se debe a que los estudiantes están acostumbrados a seguir instrucciones de un manual o un protocolo, y no a la reflexión en cada paso de su experimentación, y desde luego, a que no saben química bien.

Las figuras 2 y 3 muestran un ejemplo de un informe que los alumnos elaboraron dentro de la misma sesión por indagación.

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
QUÍMICA IV**

EQUIPO: DE: Valentina - Alvaro - Juan - Adam

1. Escriban la reacción general para la obtención de ésteres a partir de alcoholes y ácidos carboxílicos, de acuerdo con la investigación.

$$R-COOH + R'OH \xrightarrow[H_2SO_4]{\Delta} R-COO-R' + H_2O$$

2. Hagan una descripción amplia (pueden utilizar un dibujo) de su diseño experimental. Expliquen para qué se hace cada uno de los pasos.

3. ¿cuál será la evidencia sensorial (de acuerdo con la investigación) que nos indica que efectivamente hubo una reacción química? *Visualmente, la separación del éster (como una fase) y el agua (líquido) y el olor de la sustancia obtenida. Al oler un éster debe oler el aroma y fases*

4. Llenen la siguiente tabla considerando las sustancias que utilizaron utilizando:

Figura 2. Ejemplo de un informe de la actividad por indagación sobre esterificación.

Como los estudiantes utilizaron un lápiz para contestar, resulta difícil leer la información de la imagen. Aún así, puede observarse que los alumnos detallaron con dibujos su procedimiento experimental, de una forma mucho mejor que sólo enumerando los pasos de una receta.

Las indicaciones, así como la respuesta a la pregunta 1, se pueden apreciar directamente de la imagen. Sin embargo, dada la dificultad para observar el resto de los elementos, se transcribe literalmente, a continuación, la información que

acompaña a los dibujos de la pregunta 2, y la respuesta de la pregunta 3 (para revisar la hoja que se les proporcionó a los alumnos, véase nuevamente el anexo D):

Pregunta 2

- 1) alcohol + ácido carboxílico + 5 gotas H_2SO_4 (en cada uno de los tubos) se combinan los elementos
- 2) se calienta a baño maría y se esperas 15 minutos
- 3) se deja enfria y se observa la separacion entre el ester y el agua
citriscos o platano (dentro del tubo izquierdo), chicle de uva (dentro del tubo derecho), ester (identificando la parte superior de los tubos) y agua (identificando la parte inferior de los tubos)
- 4) para verificar la obtencion del ester se huele. !!si huele, si huele!! (justo a un lado del dibujo)

Pregunta 3

Visualmente, la separación del ester (como borroso) y el agua (incolor) y el olor de la sustancia obtenida. Al aver un ester debe aber el Aroma y fases

4. Llenen la siguiente tabla considerando las sustancias que estuvieron utilizando: *fases*

Alcohol	Acido carboxilico	Éster obtenido
Butilico	Acido Resorcinico	Bencato de butilo
Isocamilico	Acido Acético (glacial)	Etanoato de isocamilico

5. Escriban las ecuaciones químicas que representen las reacciones que efectuaron para obtener los ésteres.

$$C_6H_5COOH + CH_3(CH_2)_3OH \xrightarrow[H_2SO_4]{\Delta} C_6H_5COO(CH_2)_3CH_3 + H_2O$$
 Bencato de butilo

$$CH_3COOH + C_8H_{17}OH \xrightarrow[H_2SO_4]{\Delta} CH_3COO-C_8H_{17} + H_2O$$
 etanoato de isocamilico

6. ¿Existirá uno o más factores determinantes para que la reacción ocurra? ¿Cuáles?

- la cantidad de cada sustancia (equilativas)
- el calentamiento (recomendable baño maría)
- el tiempo de calentamiento minimo (10min)
- indispensable el catalizador, para que no se mezcle el agua

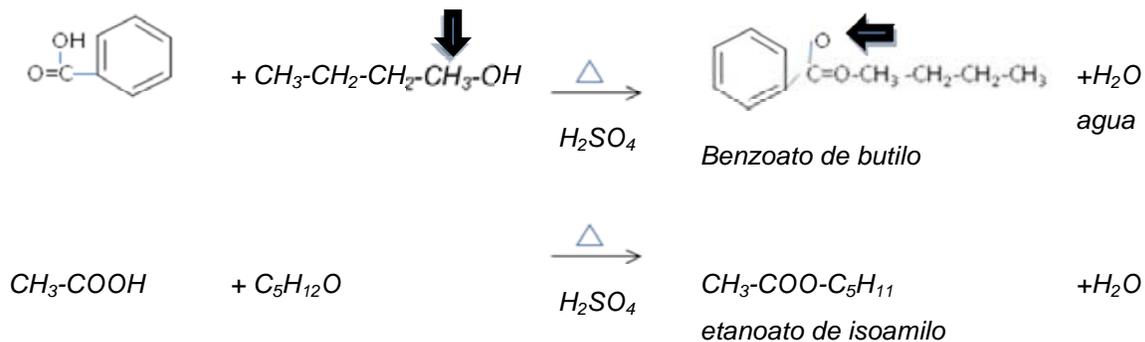
Figura 3. Ejemplo de un informe de la actividad por indagación sobre esterificación (continuación).

La transcripción de las preguntas 4 a 6 de la hoja se escribe a continuación:

Pregunta 4

*Amarillo cítricos ó platano, morado chicle de uva (a un costado de la tabla)
Butílico, Acido Benzoico, Benzoato de butilo, Isoamílico, Acido Acético Glacial,
etanoato de isoamilo (dentro de cada casilla de la tabla)*

Pregunta 5



Pregunta 6

- *la cantidad de cada sustancia (equitativos)*
- *el calentamiento (recomendable baño maría)*
- *el tiempo de calentamiento minimo (10 min)*
- *indispensable el catalizador, para que no se mezcle el agua*

Aunque lo primero que pudiera destacar de este informe son errores ortográficos y de escritura de fórmulas químicas (señalados con una flecha), se pueden notar otras cosas presentes. Por ejemplo, empezaron a notar la importancia de la simbología en la química; así también, puede resaltarse la importancia que ellos dan en la ecuación al catalizador (que efectivamente utilizaron). Aprendieron también a observar efectos macroscópicos de la reacción: el cambio de olor y la formación de una nueva fase en el líquido.

Como una breve aclaración, los alumnos fueron capaces de distinguir el aroma porque se les pidió que examinaran las sustancias antes y después de la

experimentación, y percibieran con cuidado el olor de cada una; se hizo además énfasis en que una persona no puede informar que aparece un aroma nuevo si no se consideró cuáles fueron los aromas de las sustancias iniciales.

En cuanto a la elaboración de sus propios ésteres, empleando los ácidos carboxílicos y alcoholes disponibles en el laboratorio, no todos los equipos tuvieron los resultados que querían, en lo que respecta a los aromas que esperaban. Algunos grupos habían investigado de antemano cuáles eran los ésteres que daban olor a ciertas frutas, y trataron de reproducirlos. En algunos casos ellos mismos llegaron a la conclusión de que utilizaron mucho ácido inorgánico, pues el olor del producto resultante aún tenía un fuerte aroma a esta sustancia, o bien, no obtenían un olor tan agradable como ellos esperaban. Pero lejos de desmotivarlos, los alumnos se mostraron interesados en saber qué era lo que había salido mal o a qué fruta podía parecerse el aroma que obtuvieron. Al verter los ésteres a un vaso o a la tarja, pudieron percibir mucho mejor el aroma de éstos, y apreciaron de mejor forma lo importante que resulta que el producto sea inmiscible en agua.

Comenzaron también a notar factores que no se detallan en los libros, y que son determinantes para que la reacción ocurra exitosamente, como la cantidad de los reactivos, el uso del catalizador, la temperatura y el tiempo de calentamiento. Este tipo de factores suelen indicarse en los protocolos de las prácticas tradicionales, por lo que los estudiantes normalmente no les dan la importancia adecuada.

Para la segunda actividad por indagación, sobre la elaboración del nylon 6-10, los estudiantes tuvieron la oportunidad de trabajar con un grado de libertad mayor, puesto que directamente de sus investigaciones previas tuvieron que formar el polímero, proponiendo con ello el procedimiento experimental, que consideraba el material y el montaje, y realizando el análisis de sus resultados.

Como se mencionó en la metodología, el polímero es fácil de formar, así que era factible que los estudiantes tuvieran éxito en esta actividad. No obstante, obtener una fibra y no una masa amorfa de polímero requiere cierto cuidado en el trabajo. Además, los alumnos tuvieron pocos reactivos disponibles, lo cual hacía que tomaran decisiones al respecto de cómo hacer las pruebas.

En esta sesión se pudo observar cómo los alumnos ya sabían (puesto que así lo investigaron) que requerían una diamina y un dihaluro de ácido para formar el nylon, y que éste se formaba en medio básico. Algunos sugirieron, durante la discusión, la presencia de indicadores, ya fuera para notar la basicidad, o para intentar colorear el polímero resultante.

Un protocolo común de esta experimentación sugiere utilizar una pinza de disección para tomar la pequeña película que se forma en la interfase, y así comenzar con la formación de la fibra. Un aspecto notable de la sesión fue que uno de los alumnos del grupo fue quien sugirió precisamente el empleo de una pinza para depilar para tomar la delgada interfase formada en su vaso de precipitados. Cabe mencionar además que, ante el éxito de su propuesta, muchos de sus compañeros lo imitaron. De esta manera se torna innecesario el explicarles de antemano cómo debe procederse, y adquiere importancia la comunicación de sus resultados.

Muchos equipos notaron que no todas las síntesis de productos requieren agitación, y, en este caso particular, pudieron apreciar que la agitación impedía obtener un hilo delgado. También volvieron a ser conscientes de aquellos factores que consideraron necesarios para obtener el nylon.

En la figura 4, aparece otro de los informes elaborados por los alumnos dentro de la sesión experimental, en el cual puede apreciarse, de nueva cuenta, que los alumnos exponen su procedimiento experimental, mismo que no les fue proporcionado en un protocolo o de forma oral. También consideran en su informe

los principales hallazgos de su grupo, por ejemplo, la importancia de no agitar, hallando en sus pruebas que agitando obtienen un polímero amorfo y no una fibra, y el orden en que deben añadirse los reactivos.

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
QUÍMICA IV**

EQUIPO: Nalle, Ana, Brenda, Erick

1. Escriban la reacción general para la obtención de nylon 6-10, de acuerdo con la investigación que realizaron.

$$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2 + \text{Cl}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_8-\text{CO}-\text{Cl} \xrightarrow{\text{HCl}} \text{HCl} + \text{[-CO-(CH}_2)_8-\text{CO-NH-(CH}_2)_6-\text{NH]}_n$$

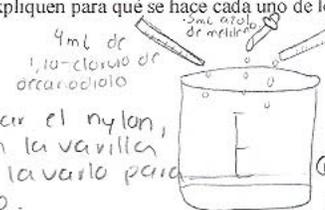
ANTES DE QUE HAGAN CUALQUIER EXPERIMENTACIÓN

2. Considerando su investigación, ¿creen que existan algunos factores importantes para que esta reacción pueda efectuarse? ¿Cuáles son? *Si. El agitado y la manera de mezclar las sustancias (lentitud)*

3. Seleccionen un factor que consideren decisivo para la reacción. ¿Cómo lo pueden verificar? *El agitado. Realizamos dos veces el procedimiento, en el primero no vamos a agitar las sustancias y en el otro sí. En la solución donde agitamos la sustancia solo obtuvimos masa de nylon, mas no hilo.*

4. Hagan una descripción amplia (pueden utilizar dibujos) de su diseño experimental completo. Expliquen para qué se hace cada uno de los pasos.

4ml de 1,10-cloruro de octanodiolo



4ml de 1,6-hexanodiamina

DESPUÉS DE LA EXPERIMENTACIÓN

5. ¿cuál será la evidencia (de acuerdo con su investigación) que nos indica que se obtuvo el nylon?
la formación de película blanca en la interfase de la solución.

6. ¿Creen que efectivamente pudieron poner a prueba el factor que seleccionaron en su experimentación? ¿Por qué?
Si, porque lo comprobamos haciendo 2 veces el experimento, en uno lo agitamos y no pudimos obtener la fibra de nylon.

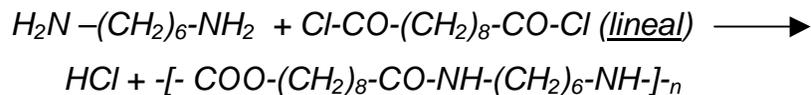
7. El factor seleccionado, ¿fue determinante en la obtención del nylon? ¿Por qué?
Si, porque de ello dependía la formación de la fibra.

Figura 4. Ejemplo de un informe de la actividad por indagación sobre la elaboración del nylon 6-10.

Es verdad que en este experimento no hay mucho margen para investigaciones diferentes, puesto que el experimento resulta muy sencillo; aún así, pudieron encontrarse cosas interesantes que surgen de los alumnos. Por ejemplo, el que ellos quisieran asegurarse de que el medio es básico con el uso de indicadores, o también, la identificación del nylon, aún sin que éste fuese un hilo fino, cuando agregaban los reactivos agitando la mezcla de reacción.

La transcripción literal de las respuestas a las preguntas de la hoja que se les proporcionó a los alumnos (se recomienda revisar también el anexo E), es la siguiente:

Pregunta 1



Pregunta 2

El agitación y la manera de mezclar las sustancias (lentitud)

Pregunta 3

El agitación. Realizamos dos veces el procedimiento, en el cual en una vamos a agitar las sustancias y en otro no. En la solución donde agitamos las sustancias sólo obtuvimos masa de nylon, mas no hilo.

Pregunta 4

(Sobre el dibujo) 4 mL de 1,10-cloruro de decanodiol, .5 mL de azul de metileno, 4 mL de 1,6-hexanodiamina

1 (del lado derecho del dibujo) Se forman 2 fases, y en la interfase se forma el nylon el cual tenemos que sacar cuidadosamente.

2 (del lado izquierdo del dibujo) Después de sacar el nylon, enrollarlo en la varilla de vidrio y lavarlo para poder tocarlo.

Pregunta 5

La formación de película blanca en la interfase de la solución.

Pregunta 6

Si, porque lo comprobamos haciendo 2 veces el experimento, en uno lo agitamos y no pudimos obtener la fibra de nylon.

Pregunta 7

Si porque de ello dependía la formación de la fibra.

Lo que no es tan evidente en este informe, pero que resultó una pequeña dificultad para los alumnos, fue que tuvieron que hacer algunas suposiciones respecto al tamaño de los materiales que iban a utilizar, como vasos y pipetas, por lo que fueron modificando su lista de material sobre la marcha, conforme veían el volumen real que ocupaban los reactivos y tomaban conciencia de las cosas que en verdad iban a necesitar).

Es notorio, en éste y en el resto de los informes presentados en este capítulo, que los alumnos tienen dificultades para expresarse correctamente y que tienen algunos errores conceptuales, como en el caso de los errores de nomenclatura; no obstante, estos errores aparecen en cualquier tipo de informe y se deben, en parte, al hecho de que son elaborados dentro del aula en la misma sesión experimental.

Éste y el resto de los informes presentados aquí, como puede verse, no fueron seleccionados por ser los mejores ni por la carencia de errores, tanto gramaticales como conceptuales; más bien, se seleccionaron para que se pudieran apreciar los diferentes recursos que utilizaron los estudiantes para explicar sus diseños experimentales. Así también se podrá observar en el informe de la última actividad por indagación.

Pero, regresando a las fortalezas detectadas de este tipo de actividad experimental, se puede mencionar que los alumnos reforzaron la idea de que las investigaciones previas tienen utilidad, entre otras cosas, para poder hacer un diseño experimental adecuado. Reconocen también la importancia que tiene el

compartir información y resultados con sus compañeros, pues cuando escuchaban lo que los otros grupos iban a necesitar y a hacer, revisaban sus propios diseños experimentales.

En el caso del último trabajo práctico por indagación, el de la formación del polimetacrilato de metilo, hay algunos resultados que es interesante comentar. El informe que lo ejemplifica, se expone en las figuras 5 y 6.

Este trabajo práctico, tal como se explicó en la metodología, es el más abierto de los tres y, por lo tanto, tiene muchas alternativas que los estudiantes pueden explorar. Hubo quienes se decidieron por experimentar con las cantidades de reactivos, quienes modificaron la temperatura, o quienes buscaron identificar el papel de diferentes sustancias en la reacción, es decir, si eran iniciadores o inhibidores de la polimerización.

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
QUÍMICA IV**

EQUIPO: Dafne Joáquín
Karina Miguel

1. Escriban la reacción general para la obtención poliacrilato de metilo (PMMA), de acuerdo con la investigación que realizaron.

ANTES DE QUE HAGAN CUALQUIER EXPERIMENTACIÓN

2. Considerando su investigación, ¿creen que existen algunos factores importantes para que este polimero pueda ser elaborado en el laboratorio? ¿Cuáles son éstos?
Sí, la temperatura, la agitación, cantidad de las sustancias

3. Seleccionen un factor que consideran decisivo para la reacción. ¿Cómo pueden verificarlo? *La cantidad de sustancias, lo podemos verificar variando éstas en cada prueba*

4. ¿Existe alguna pregunta que surja de su investigación y que pueda ponerse a prueba respecto al proceso de elaboración del poliacrilato de metilo? ¿Cuál es esta pregunta?
¿Es posible obtener acrílico a partir de la hidroquinina?

5. En estas pruebas que van a hacer: ¿Cuál es la variable que modifican (variable independiente)? ¿Cuál es la variable que observan (variable dependiente)? ¿Existen parámetros que permanezcan fijos? *modificamos la cantidad de metacrilato de metilo, la variable dependiente es la formación de acrílico, no hay parámetros fijos*

6. Hagan una descripción amplia (pueden utilizar dibujos) de su diseño experimental completo. Expliquen para qué se hace cada uno de los pasos.

DESPUÉS DE LA EXPERIMENTACIÓN

7. ¿cuáles son las propiedades que evidencian (de acuerdo con su investigación) que se obtuvo el acrílico? *es transparente, tiene dureza, etc.*

8. ¿Creen que efectivamente pudieron poner a prueba el factor que seleccionaron en su experimentación? ¿Por qué? *Sí, porque el resultado de las pruebas fue diferente de acuerdo a cada cantidad de sustancia.*

9. El factor seleccionado, ¿fue determinante en la obtención del acrílico? ¿Por qué?
Sí, porque en el último tubo a pesar de que fue metacrilato y peróxido no se obtuvo acrílico

10. ¿Pudieron contestar experimentalmente la o las preguntas que se formularon? ¿Cuáles fueron sus respuestas?
Sí, no es posible obtener acrílico a partir de la hidroquinina.

Figura 5. Ejemplo de un informe de la actividad por indagación sobre la elaboración del polimetacrilato de metilo.

De igual manera que en los informes anteriores, se realizó la transcripción literal de las respuestas (nuevamente, se invita a leer el anexo F):

Pregunta 2

Sí, la temperatura, la agitación, cantidad de las sustancias

Pregunta 3

La cantidad de sustancias, lo podemos verificar variando éstas en cada prueba

Pregunta 4

¿Es posible obtener acrílico a partir de la hidroquinona?

Pregunta 5

Modificamos la cantidad de metacrilato de metilo, la variable dependiente es la formación acrílico, no hay parámetros fijos

Pregunta 7

Es transparente, tiene dureza, etc.

Pregunta 8

Sí, porque el resultado de las pruebas fue diferente de acuerdo a cada cantidad de sustancia

Pregunta 9

Sí, porque en el último tubo a pesar de que fue metacrilato y peróxido no se obtuvo acrílico

Pregunta 10

Sí, no es posible obtener acrílico a partir de la hidroquinona

La primera observación que se tiene sobre este informe es, que se puede apreciar que a los alumnos aún les cuesta hacer un análisis consciente sobre el manejo de variables. Lo han utilizado en trabajos anteriores, y concretamente en las dos actividades experimentales que antecedieron a ésta, pero no son capaces de reconocer parámetros fijos como la temperatura, la cantidad empleada de metacrilato o la agitación. Esto se puede deber a que no han sentido previamente la necesidad de aislar las variables para hacer un diseño experimental. Es por eso que se sugiere para futuras experiencias hacer una actividad metacognitiva sobre los aprendizajes de la metodología científica de cada sesión por indagación.

El resto de la transcripción, correspondiente a la explicación del diseño experimental solicitada en la pregunta 6 (figura 4-5), se escribe a continuación:

Pregunta 6

a) *–metacrilato 2 mL + hidroquinona 0.6 grs*

- variable ind cantidad de metacrilato

agitación

No se obtuvo metacrilato

la hidroquinona quedó igual

b) *2 mL metacrilato*

0.6 grs peróxido de benzoilo

Agitación

Sí se obtuvo acrílico

c) *3 mL metacrilato*

0.6 grs hidroquinona

Agitación

No se obtuvo acrílico

Color café y al fondo se quedó la hidroquinona

d) *3 mL metacrilato*

0.6 grs peróxido de benzoilo

Agitación

Sí se obtuvo acrílico

e) *2 mL metacrilato*

1 gr peróxido de benzoilo

Sin agitación

No se obtuvo acrílico

En esta prueba pareció obtenerse acrílico, sólo que es muy viscoso y quedó color amarillo, además de que al estar en la parrilla arrojó demasiado humo.

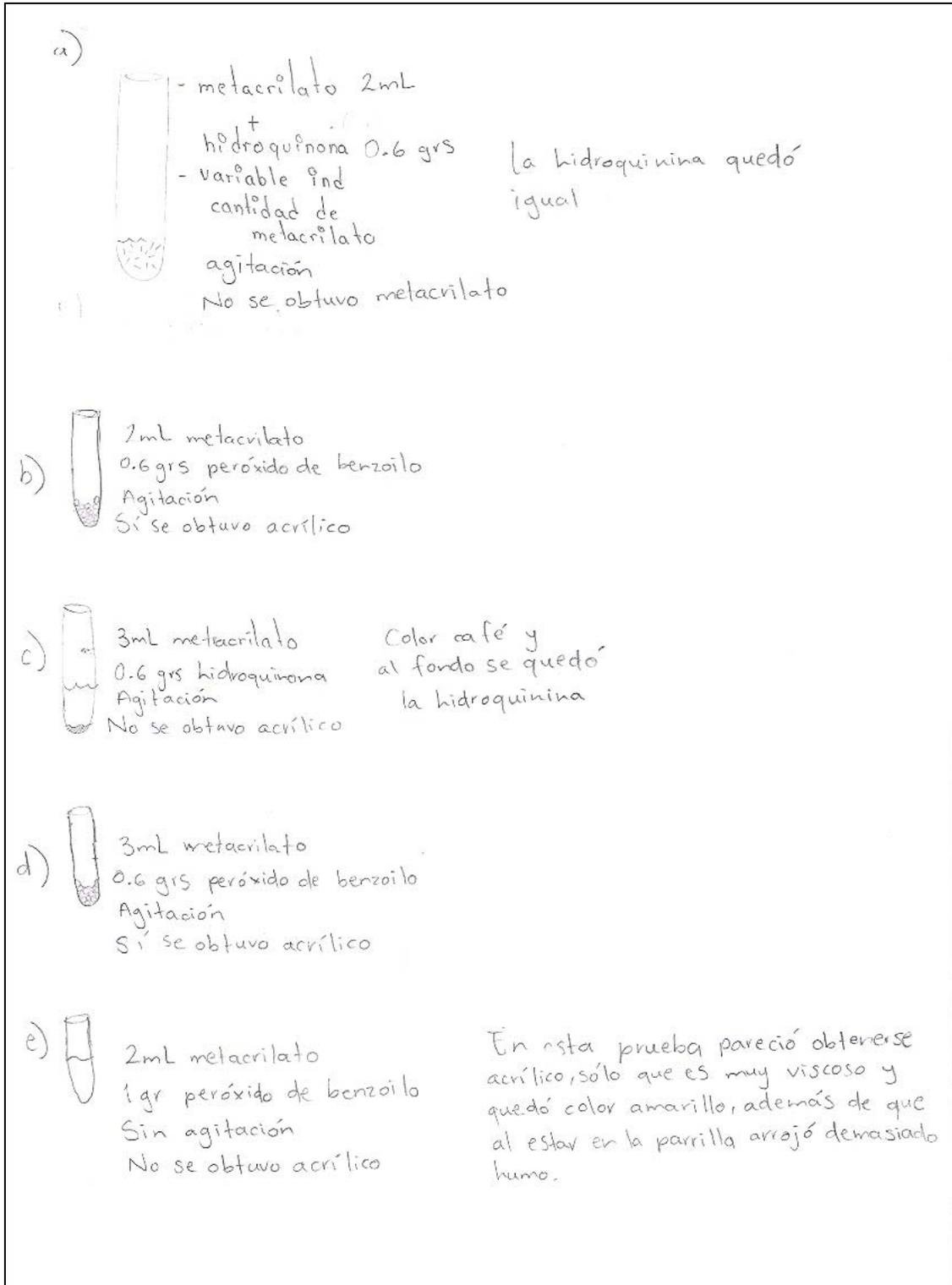


Figura 6. Continuación del informe de la actividad por indagación sobre la elaboración del polimetacrilato de metilo.

El equipo que realizó este informe realizó 3 pruebas. En la primera, con las mismas condiciones de reacción quisieron formar el acrílico utilizando un iniciador o un inhibidor (que ellos habían investigado previamente), para comprobar que, en efecto, ocurriera o no la polimerización, aún cuando existieron los 2 reactivos y el resto de las condiciones establecidas en la literatura. En la segunda prueba, observaron si, al variar la cantidad de metacrilato, manteniendo constante el iniciador o inhibidor, se seguía efectuando la polimerización. Por último, observaron si, al utilizar el iniciador y el metacrilato, sin agitar, se producía el acrílico.

Lo destacable de este informe es que, por iniciativa propia, deciden hacer cinco pruebas para poder llegar a sus conclusiones, aún cuando no sean capaces de descomponer cada una de las pruebas que hicieron en experimentos independientes. Aún así es notable que en ningún momento se les dieran lineamientos para el diseño experimental. Los alumnos hicieron uso de los procedimientos adquiridos por ésta y otras asignaturas científicas para poder diseñar sus experimentos.

Un caso que llama la atención, fue el de un equipo que decidió utilizar el peróxido de hidrógeno como iniciador de su reacción, dado que en su investigación previa encontraron que los iniciadores de los polímeros por adición son, en la mayoría de los casos, peróxidos. Este equipo trabajó empleando la temperatura como variable independiente, dando por un hecho que el peróxido de hidrógeno funcionaría como iniciador de la reacción. Al encontrar que el agua oxigenada no funcionaba para formar el polímero se sintieron un poco decepcionados, pero su diseño experimental fue cuidadoso y bien ejecutado, y así fue señalado frente al grupo entero cuando expusieron sus resultados. De esta forma, se buscaba enfatizar a los alumnos que un diseño experimental bien realizado, aún cuando no brinda los resultados esperados, resulta valioso para la refutación o aceptación de hipótesis.

En esta actividad, además de hacer uso de los contenidos procedimentales de las sesiones anteriores, los alumnos dejan planteadas nuevas interrogantes, nuevas líneas de investigación a partir de este mismo trabajo. Es decir, se quedan con el deseo de haber intentado probar con otra variable o de haber modificado su diseño experimental en cuanto a su montaje. También existió un avance en su manejo y control de variables, así como en la comunicación de su diseño experimental y sus resultados ante el grupo.

B) Resultados obtenidos de las preguntas cerradas de los cuestionarios sobre *naturaleza de la ciencia*

Los resultados que se exponen a continuación, corresponden al cuestionario que se les aplicó a los estudiantes de ambos grupos, tanto en el grupo de trabajo como en el de control, al inicio y al final del curso. Dicho cuestionario se realizó tomando como base los estándares educativos estadounidenses y el documento que Ron Good y sus colaboradores, ya referenciado en la metodología, escribieron junto con su instrumento para evaluar las ideas sobre *naturaleza de la ciencia*.

Este instrumento divide los reactivos de acuerdo con las principales ideas de la *naturaleza de la ciencia* que se contemplan en el primer capítulo de la publicación “Ciencia para todos los americanos” (Rutherford y Ahlgren, 1989). En el cuestionario aplicado durante esta investigación, dichas ideas, así como los reactivos donde se ven reflejadas (anexo C), se muestran a continuación:

- Sobre la ciencia y su relación con el mundo natural (reactivos 1, 2 y 4)
- Sobre cómo crece el conocimiento científico (reactivos 3, 5, 11, 12 y 20)
- Sobre la validez y confiabilidad del conocimiento científico (reactivos 8, 18, 19 y 25)
- Sobre el método científico (reactivos 7, 9 y 23)
- Sobre la ciencia contra la tecnología (reactivos 16 y 24)
- Sobre los científicos como personas (reactivos 13, 14, 15, 21 y 22)

- Sobre la ciencia y “no ciencia” (6, 10 y 17)

El instrumento se trató de elaborar lo más parecido posible al original, para evitar así el proceso de validación de un cuestionario nuevo. De cualquier forma, se consideró importante, además de la traducción, añadir el reactivo propuesto por Lederman y su grupo, también referenciado en la metodología, correspondiente a una pregunta abierta sobre qué caracteriza a un científico, pues con ello se pueden analizar otros aspectos de la ciencia que los otros reactivos no exploran, como las visiones deformadas que los alumnos han adquirido sobre la ciencia.

Sin embargo, debido a los cambios que finalmente tuvo el instrumento, se vuelve necesario el proceso de validación, por lo que quedará propuesto como una continuación de esta investigación, así como el desarrollo de un instrumento mucho más adecuado al lenguaje de los estudiantes mexicanos.

También se ha mencionado que no todas las ideas relativas a los reactivos del cuestionario son susceptibles de ser modificables mediante enseñanza experimental exclusivamente. Esta es la razón por la cual se decidió que se debían escoger aquellos elementos de la *naturaleza de la ciencia* que se consideraban asequibles mediante el modelo de enseñanza experimental que se estaba utilizando, la indagación, y que podían mejorar sustancialmente con la aplicación de la secuencia de trabajos prácticos.

De cualquier forma, se aplicó a ambos grupos, el de control y el de trabajo, el cuestionario completo con los 25 reactivos y la pregunta abierta, aún sabiendo que habría especial atención en sólo diez de las afirmaciones, las cuales se indicarán posteriormente. Esto se debe a que se quería apreciar si había alguna otra idea que se modificara con la intervención, y que no hubiera sido considerada de inicio.

Los reactivos 1, 3, 7, 8, 9,10, 11, 12, 13 y 19 del cuestionario (diez en total), enumerados en la metodología, fueron considerados susceptibles a modificación

utilizando una enseñanza experimental novedosa, concretamente la enseñanza por indagación. Para efectos del análisis, cada uno de estos reactivos fue revisado independientemente. El resto de las afirmaciones (que fueron consideradas no susceptibles a modificación utilizando la indagación) se revisarán en conjunto.

Tal como se mencionó en la metodología, se amplió la escala Likert que utiliza el instrumento de evaluación, de tal modo que cualquier opinión que cada alumno tuviera correspondiera con alguna opción del cuestionario. Sin embargo, para el momento de la revisión de los resultados, se agruparon las categorías “totalmente de acuerdo” y “de acuerdo” como una sola. Análogamente se procedió con las opciones para el desacuerdo.

Resulta importante aclarar que, en estos resultados, el hecho de que un estudiante no contestara la respuesta esperada a la pregunta, no implica necesariamente que dicho estudiante hubiera contestado mal, sino que pudo encontrarse en la situación de no estar ni de acuerdo ni en desacuerdo con la oración del reactivo, justo como funciona una escala Likert. No se puede saber en todos los casos a qué pueda deberse esa indeterminación. En la mayoría de los casos, se consideró que ocurrió porque no hubo un verdadero aprendizaje del concepto; no obstante, como se discutirá en su momento, pudo deberse a una mala redacción del reactivo, lo cual a su vez pudo impedir la comprensión del enunciado, y por ello no se evaluó eficazmente la comprensión del concepto.

A continuación, se presentan los reactivos que se seleccionaron como “susceptibles de modificación” con la intervención experimental. En cuatro de ellos, donde los cambios parecen más evidentes, se harán comentarios para hacer notar las diferencias en los grupos; no obstante, el análisis y las posteriores conclusiones se discutirán más adelante.

Resultados

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
1. Los científicos suponen que los eventos que ocurren en el universo siguen patrones o tendencias que pueden conocerse mediante estudios cuidadosos y sistemáticos	De acuerdo	55%	45%	80%	65%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
3. Para la ciencia es preferible modificar las ideas en lugar de rechazarlas rotundamente	De acuerdo	70%	50%	65%	70%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
7. No existen pasos fijos que los científicos siguen para llegar a su conocimiento	De acuerdo	45%	20%	55%	80%

Este resultado es uno de los más importantes respecto a la hipótesis de trabajo. Si bien 11 alumnos de 20 (del grupo de trabajo) ya pensaban al inicio del curso que el método científico no es ese esquema riguroso que normalmente se ha mostrado en cursos anteriores, al finalizar el ciclo, 5 personas más están convencidas de lo dinámica y flexible que es la metodología científica. Se considera que este resultado se ha favorecido con la libertad con la que trabajaron para resolver sus situaciones problemáticas experimentales. El grupo control, por su parte, ha disminuido a sólo 4 personas que afirman que el método científico no es rígido ni secuencial. De cualquier forma, más adelante se hará el análisis estadístico.

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
8. Tarde o temprano, la validez de las aseveraciones científicas se establece gracias a las observaciones y/o mediciones que se hacen de los fenómenos	De acuerdo	70%	75%	85%	95%

Resultados

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
9. La experimentación donde sólo se cambia un parámetro a la vez no es posible en algunas áreas de la ciencia	De acuerdo	25%	35%	40%	20%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
10. Una hipótesis que no puede ser puesta a prueba, no puede ser científicamente útil	De acuerdo	65%	55%	40%	30%

En este reactivo se puede comentar que es posible que los estudiantes piensen que todas las hipótesis son útiles, puesto que en ocasiones lo que se pone a prueba no es la hipótesis como tal, sino una de sus consecuencias. Además, en muchos casos, el tratar de probar una hipótesis es un motor de la investigación.

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
11. Inventar ideas acerca de cómo funciona el mundo es tan creativo como escribir poesía o componer música	De acuerdo	25%	45%	15%	45%

El cambio detectado en el grupo de trabajo, si bien está lejos de ser el óptimo, resulta muy interesante. Los alumnos comienzan a estar de acuerdo con la idea de que la ciencia es creativa. Nuevamente, se considera que la apertura de las actividades favorece el espíritu creativo de los estudiantes.

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
12. Las teorías científicas deben sonar lógicas y deben usar una cantidad importante de observaciones válidas	De acuerdo	80%	75%	70%	85%

Resultados

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
13. Los científicos generalmente trabajan solos mientras tratan de entender el mundo	En desacuerdo	35%	45%	50%	85%

Este es otro resultado que plantea una postura optimista para la indagación. Mientras que en el grupo control, aún después del curso entero, sólo nueve personas piensan que la ciencia se construye en comunidad, en el grupo de trabajo 17 de las 20 personas piensan que la ciencia es una actividad social. La justificación de este progreso se atribuye a la oportunidad de comunicar sus diseños experimentales y sus resultados, tanto entre los mismos integrantes del equipo como entre los demás equipos del grupo.

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
19. La palabra “teoría” en ciencia significa una “corazonada” o una suposición acerca de cómo funciona el mundo	En desacuerdo	25%	45%	40%	20%

Este es el único de los reactivos donde se detectó que el grupo de control se desempeñó mejor que el grupo de trabajo. Aunque puede deberse a diferentes causas, se considera que los estudiantes suelen confundir términos científicos como “hipótesis” y “teoría”. Dado que en el lenguaje coloquial, la palabra “teoría” tiene un significado de “tentativo”, los alumnos que tuvieron la oportunidad de poner a prueba sus hipótesis, pudieron pensar que eran las “teorías” las que estaban poniendo a prueba. Aún cuando no hay evidencia de esta afirmación, esta incorrección puede deberse a un problema de semántica, y no al hecho de que efectivamente crean que las teorías científicas son “corazonadas”.

En el resto de los reactivos, en los cuales se consideró que no podía existir una incidencia importante con la nueva enseñanza experimental, no se hizo un análisis, y sólo se mostraron los resultados, debido, principalmente, a la dificultad

Resultados

de abordar explícitamente y de forma consistente las ideas involucradas en estas aseveraciones, puesto que sólo se tienen a los alumnos durante 4 meses. Aún cuando alguno de esos reactivos pudo trabajarse implícitamente, no existirían evidencias para concluir sobre las modificaciones de las ideas de los alumnos.

De acuerdo con lo establecido en el marco teórico, resulta necesario involucrar a los estudiantes en el proceso de creación y sustentación de las ideas científicas; sin embargo, se enfatiza que ésto no puede ocurrir solamente con enseñanza experimental. Es importante que los alumnos participen en debates que los ayuden a mejorar sus habilidades de argumentación y les permitan conocer otros aspectos de la ciencia, que lean e investiguen en fuentes bibliográficas, pues los científicos pasan mucho de su tiempo haciendo esto, o que tengan frecuentes actividades de difusión de sus resultados o de sus investigaciones; sólo de esta manera global pueden los alumnos tener la idea completa de *naturaleza de la ciencia*. Todas estas actividades llevan tiempo y constancia. Esta es la razón por la cual se consideró que los alumnos no pueden adquirir plenamente el resto de las aseveraciones que contempla el cuestionario.

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
2. Los científicos suponen que el universo es un gran sistema en el cual se aplican siempre las mismas reglas básicas	De acuerdo	10%	20%	5%	5%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
4. Los científicos asumen que, si bien no es posible tener la verdad completa y absoluta, sí se pueden tener explicaciones muy cercanas acerca de cómo funciona el mundo	De acuerdo	100%	100%	85%	95%

Resultados

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
5. La estabilidad y la continuidad, así como el cambio, son elementos que caracterizan a la ciencia	De acuerdo	75%	85%	60%	70%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
6. Hay muchas cosas que no pueden ser examinadas de forma científica	De acuerdo	85%	65%	65%	50%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
14. Los científicos opinan con menos prejuicios sobre asuntos públicos que otros miembros de la sociedad	En desacuerdo	25%	25%	50%	65%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
15. La mayoría de los científicos permanece dentro de los límites éticos de su profesión	De acuerdo	40%	30%	40%	25%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
16. Los propósitos de la ciencia y la tecnología son casi los mismos	En desacuerdo	20%	30%	25%	25%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
17. Las explicaciones sobrenaturales no tienen cabida en la ciencia	De acuerdo	15%	40%	30%	25%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
18. El conocimiento científico no es más confiable que otro tipo de conocimiento	En desacuerdo	55%	50%	60%	70%

Resultados

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
20. Las leyes científicas no cambian	En desacuerdo	65%	70%	75%	85%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
21. Los científicos tienen menos interés en el arte que la gente de otras profesiones	En desacuerdo	50%	45%	35%	65%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
22. Los científicos están más dispuestos a cambiar su forma de pensar cuando aparece evidencia nueva que otros miembros de la sociedad	En desacuerdo	5%	15%	15%	10%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
23. Los científicos pueden aprender sobre el mundo únicamente haciendo experimentos cuidadosamente controlados	En desacuerdo	30%	20%	25%	45%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
24. La mayoría de los descubrimientos científicos son útiles para la sociedad	En desacuerdo	5%	5%	0%	0%

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control		Grupo de trabajo	
		Antes	Después	Antes	Después
25. La validez del conocimiento científico depende en gran medida de las creencias y costumbres del país donde vive el científico	En desacuerdo	50%	15%	40%	45%

La siguiente tabla señala el porcentaje de alumnos que contestaron lo esperado en cada reactivo del cuestionario:

Tabla 3. Resumen de las respuestas esperadas obtenidas por los alumnos de los grupos de trabajo y control

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control (612)		Grupo de trabajo (618)	
		Antes	Después	Antes	Después
1	De acuerdo	55%	45%	80%	65%
2	De acuerdo	10%	20%	5%	5%
3	De acuerdo	70%	50%	65%	70%
4	De acuerdo	100%	100%	85%	95%
5	De acuerdo	75%	85%	60%	70%
6	De acuerdo	85%	65%	65%	50%
7	De acuerdo	45%	20%	55%	80%
8	De acuerdo	70%	75%	85%	95%
9	De acuerdo	25%	35%	40%	20%
10	De acuerdo	65%	55%	40%	30%
11	De acuerdo	25%	45%	15%	45%
12	De acuerdo	80%	75%	70%	85%
13	En desacuerdo	35%	45%	50%	85%
14	En desacuerdo	25%	25%	50%	65%
15	De acuerdo	40%	30%	40%	25%
16	En desacuerdo	20%	30%	25%	25%
17	De acuerdo	15%	40%	30%	25%
18	En desacuerdo	55%	50%	60%	70%
19	En desacuerdo	25%	45%	40%	20%
20	En desacuerdo	65%	70%	75%	85%
21	En desacuerdo	50%	45%	35%	65%
22	En desacuerdo	5%	15%	15%	10%
23	En desacuerdo	30%	20%	25%	45%
24	En desacuerdo	5%	5%	0%	0%
25	En desacuerdo	50%	15%	40%	45%

Para analizar las diferencias existentes entre los grupos experimental y de control, se utilizó una sencilla prueba estadística que emplea la *t de student*, puesto que este estadístico funciona en muestras integradas por menos de 30 elementos, que es el caso de nuestros grupos de trabajo.

Dicha prueba consistió en obtener un intervalo de confianza para la diferencia entre dos proporciones, como se describe en varios libros de estadística para ciencias sociales, como el de Christensen (2004). De los tres intervalos de confianza usuales en estudios de ciencias sociales (al 90, 95 y 99%), se optó por utilizar el intervalo de confianza al 90%, de modo que el intervalo donde se

encontrara la diferencia de las muestras fuera más reducido, y por tanto, se pudieran observar más las diferencias entre las muestras.

Cabe aclarar que este nivel de confianza no es el más estricto, pero sí el que permitía obtener mayor cantidad de reactivos con evidencia de cambio. De cualquier forma, se hizo también la prueba con un 95% de confianza, por lo cual, en los reactivos en los que se encontró evidencia de cambio estadístico, se señalará en cada caso cuál fue el nivel de significancia empleado.

De modo general, la prueba consiste en obtener el error estándar estimado de la diferencia entre dos proporciones para que, al multiplicar este error estándar por el valor de la *t de student* respectiva, se pueda obtener la incertidumbre de la proporción, obteniendo con ello el valor del intervalo de confianza.

Este proceso se puede clarificar poniendo un ejemplo. Supóngase que se quiere comparar el resultado del grupo de control en el reactivo número 1:

Reactivo	Respuesta esperada	Grupo control (612)	
		Antes	Después
1	De acuerdo	55%	45%

Lo primero que debe hacerse es calcular el error estándar estimado de la diferencia de las proporciones de las muestras, con la siguiente expresión:

$$s_{p_2-p_1} = \sqrt{\frac{p_1(1-p_1)}{n_1} + \frac{p_2(1-p_2)}{n_2}} = \sqrt{\frac{(0.55)(0.45)}{20} + \frac{(0.45)(0.55)}{20}} = 0.1573$$

En la cual, $s_{p_2-p_1}$ es el error estándar de la diferencia de proporciones, p_1 y p_2 son las proporciones inicial y final respectivamente, en este caso 55% y 45%, y n_1 y n_2 son el número de alumnos de la muestra inicial y final. En esta investigación, en ambos grupos las muestras fueron de 20 estudiantes que hicieron el cuestionario al inicio y al final del ciclo escolar.

Posteriormente, se elabora el intervalo de confianza, considerando tanto el error estándar obtenido como el valor de la *t de student* que corresponda al 90% ó 95%, en su caso, de confianza y a la cantidad de elementos de la muestra, por lo cual, en las tablas del estadístico *t*, el valor se busca con $n-1$ grados de libertad, es decir 19 y con el valor del área de 5% a una cola o 10% a dos colas, dependiendo el tipo de tablas que se consulten. Dicho valor, es de 1.729 para 90% de confianza y 2.093 para 95% de confianza; con éste y con los datos, se calcula el intervalo:

$$p_2 - p_1 - t_{0.05,19}(s_{p_2-p_1}) = 0.45 - 0.55 - 1.729(0.1573) = -0.3720 = \mathbf{-37.20\%}$$

$$p_2 - p_1 + t_{0.05,19}(s_{p_2-p_1}) = 0.45 - 0.55 + 1.729(0.1573) = 0.1720 = \mathbf{17.20\%}$$

Nótese en este ejemplo lo que significa el intervalo: la diferencia real entre la proporción de respuestas correctas en el grupo de control al inicio del curso y la proporción de respuestas correctas del mismo grupo al finalizar el curso, está contenida en el intervalo de -37.20% a 17.20%. Esto significa que, estando el cero dentro del intervalo, existe la posibilidad de que no haya ninguna diferencia entre las proporciones. También obsérvese que si la diferencia de proporciones estuviera contenida en un intervalo negativo, implicaría que el grupo empeoró. En este caso particular, el intervalo no es simétrico respecto al cero, y tiene tendencia hacia los valores negativos, por lo cual se aprecia que, efectivamente, el grupo empeoró en este reactivo; no obstante, no hay evidencia estadística para decir que existe una diferencia real entre las proporciones de respuestas correctas.

Se hizo una tabla con los valores de los intervalos de confianza obtenidos para comparar al grupo control consigo mismo, para comparar al grupo de trabajo consigo mismo, y para comparar el desempeño de ambos grupos al finalizar el ciclo escolar (anexo H) considerando 90% y 95% de confianza. En la tabla 4 figuran sólo aquellos reactivos en donde hay evidencia estadística de una diferencia en el desempeño de los alumnos.

Tabla 4. Reactivos en los cuáles existió diferencia estadística considerando un intervalo de confianza del 90%

Reactivo	Diferencia encontrada en el grupo de control entre la primera y la segunda aplicación	Diferencia encontrada en el grupo de trabajo entre la primera y la segunda aplicación	Diferencia entre grupos al final del semestre
7. No existen pasos fijos que los científicos siguen para llegar a su conocimiento	El grupo empeoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo mejoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
8. Tarde o temprano, la validez de las aseveraciones científicas se establece gracias a las observaciones y/o mediciones que se hacen de los fenómenos	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
11. Inventar ideas acerca de cómo funciona el mundo es tan creativo como escribir poesía o componer música	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo mejoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo de trabajo tuviera mejor desempeño que el de control en este reactivo
13. Los científicos generalmente trabajan solos mientras tratan de entender el mundo	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo mejoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
14. Los científicos opinan con menos prejuicios sobre asuntos públicos que otros miembros de la sociedad	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
17. Las explicaciones sobrenaturales no tienen cabida en la ciencia	El grupo mejoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo de trabajo tuviera mejor desempeño que el de control en este reactivo
19. La palabra “teoría” en ciencia significa una “corazonada” o una suposición acerca de cómo funciona el mundo	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de control fue superior al grupo de trabajo en este reactivo
21. Los científicos tienen menos interés en el arte que la gente de otras profesiones	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo mejoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo de trabajo tuviera mejor desempeño que el de control en este reactivo

23. Los científicos pueden aprender sobre el mundo únicamente haciendo experimentos cuidadosamente controlados	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
25. La validez del conocimiento científico depende en gran medida de las creencias y costumbres del país donde vive el científico	El grupo empeoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo

**Tabla 5. Reactivos en los cuáles existió diferencia estadística
Considerando un intervalo de confianza del 95%**

Reactivo	Diferencia encontrada en el grupo de control entre la primera y la segunda aplicación	Diferencia encontrada en el grupo de trabajo entre la primera y la segunda aplicación	Diferencia entre grupos al final del semestre
7. No existen pasos fijos que los científicos siguen para llegar a su conocimiento	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
11. Inventar ideas acerca de cómo funciona el mundo es tan creativo como escribir poesía o componer música	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo mejoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo de trabajo tuviera mejor desempeño que el de control en este reactivo
13. Los científicos generalmente trabajan solos mientras tratan de entender el mundo	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo mejoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
14. Los científicos opinan con menos prejuicios sobre asuntos públicos que otros miembros de la sociedad	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo
25. La validez del conocimiento científico depende en gran medida de las creencias y costumbres del país donde vive el científico	El grupo empeoró su desempeño en este reactivo durante el ciclo escolar	No hay evidencia estadística de que el grupo tuviera un cambio en este reactivo durante el ciclo escolar	El grupo de trabajo fue superior al grupo de control en este reactivo

La discusión derivada de los resultados expuestos y de estas tablas, serán comentadas en el capítulo siguiente.

También se utilizó para el análisis un estadístico llamado *tamaño del efecto*. Este estadístico se conoce también como *delta de Glass* y aparece referido en algunos estudios de didáctica de las ciencias (Verdú, 2004).

El *tamaño del efecto* tiene un uso cada vez más difundido en investigaciones de ciencias sociales, y sirve para tratar de dar un valor de la magnitud del efecto producido entre dos grupos distintos por un tratamiento que se le da a uno de ellos. Este parámetro estadístico mide lo que se separan las medias de dos grupos, en un número de desviaciones estándar del grupo de control, de tal modo que mientras mayor sea el valor del *tamaño del efecto*, mayor será la diferencia entre los dos grupos.

La expresión para calcular el *tamaño del efecto* (d) es la siguiente:

$$d = \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{\frac{\sigma_2^2 + \sigma_1^2}{2}}}$$

En la cual, M_1 y M_2 corresponden a las medias aritméticas de dos muestras y σ_1 y σ_2 a sus respectivas desviaciones estándar.

En esta investigación, se calculó el *tamaño del efecto* producido por la intervención de los tres trabajos prácticos por indagación en las respuestas de los diez reactivos seleccionados. Para ello, era necesario obtener las calificaciones numéricas de cada cuestionario en cada uno de los grupos, exclusivamente en los diez reactivos seleccionados, puesto que fueron los que “sufrieron algún efecto” debido a la propuesta experimental; de tal forma que pudieran obtenerse las medias aritméticas y las desviaciones estándar muestrales de las calificaciones de los cuestionarios para cada grupo y para cada aplicación.

Para dar por buena una respuesta del cuestionario, y de esta manera poder obtener la calificación numérica de los diez reactivos, nuevamente se agruparon las categorías de “totalmente de acuerdo” y “de acuerdo”. Igualmente se hizo para las opciones de desacuerdo. Se contaron las respuestas “correctas” y se asignó una calificación numérica a cada cuestionario. Una vez calificados los cuestionarios, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6. Media aritmética y desviación estándar de las calificaciones de los cuestionarios

Grupo de control (612)				Grupo de trabajo (618)			
Antes		Después		Antes		Después	
M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
4.95	1.57	5.00	1.59	5.40	1.57	5.95	1.54

Con estos datos y con la expresión matemática anterior, se calculó *el tamaño del efecto* de la intervención experimental en el grupo de trabajo, respecto a sí mismo y con respecto al grupo control. Los valores que se obtuvieron fueron:

Tamaño del efecto de la intervención experimental sobre el grupo de trabajo, respecto a sí mismo, comparando antes y después de la indagación: 0.35

Tamaño del efecto de la intervención experimental sobre el grupo de trabajo, respecto al grupo control: 0.61

Para interpretar el tamaño del efecto, se utilizan diferentes tablas, como las reportadas en el trabajo citado (Verdú, 2004), en libros de estadística, o en páginas electrónicas, como la del Centro de currículo, evaluación y dirección de la Universidad de Durham, Inglaterra (CEM Centre, 1999).

Utilizando dichas tablas, se puede señalar que el efecto que tuvo la intervención experimental sobre el grupo de trabajo, reflejado en un cambio en el desempeño de los alumnos ocurrido entre el inicio y el final del curso, cuyo valor es de 0.35, quiere decir que una persona promedio del grupo de trabajo, al finalizar el curso escolar, tiene un mejor desempeño que el 64% de los alumnos de ese mismo grupo al inicio del ciclo, sólo en los diez reactivos seleccionados.

Análogamente, el efecto que tuvo la intervención experimental sobre el grupo de trabajo, reflejado en un cambio en el desempeño de los alumnos del grupo de trabajo con respecto a los del grupo de control (cuyo valor es de 0.61), quiere decir que una persona promedio del grupo de trabajo tiene un mejor desempeño que el 73% de los alumnos del grupo de control al final del ciclo escolar. De nueva cuenta, la conclusión derivada de estos resultados será descrita de forma más amplia en el siguiente capítulo.

C) Resultados y análisis de la pregunta abierta del cuestionario

En esta parte del cuestionario, los alumnos tenían un espacio para contestar de forma libre las características que ellos consideraban que tiene un científico. Adicionalmente, los alumnos tenían la opción de hacer un dibujo para complementar la respuesta, o bien, para que éste fuera su única respuesta.

Para rellenar la tabla 7, que se muestra a continuación, se enumeraron todas las características que los estudiantes propusieron en sus respuestas y se agruparon aquéllas que se repetían. Se consideraron en la cuenta total los dibujos que los alumnos hacían, si es que en éstos se podía ver una característica claramente, por ejemplo, el hecho de dibujar al científico con bata y con lentes.

Por último, se tomaron en cuenta únicamente aquellas características que se nombraron más de dos veces. Esta es la lista de las 26 características de un científico que consideraron los alumnos del grupo de trabajo y del grupo de control:

Tabla 7. Resumen de las respuestas de los alumnos a la pregunta abierta del cuestionario

Característica	Grupo control		Grupo de trabajo	
	Antes	Después	Antes	Después
Amplios conocimientos / estudios	6	5	4	2
Dedicados / Perseverantes	5	9	3	3
Abiertos a ideas nuevas	4	2	1	1

Resultados

Observadores	7	1	5	7
Analíticos	7	7	3	4
Siguen el método científico	3	1		
Serios	4	0	0	2
Inteligentes / Ingeniosos	5	8	6	5
Creativos	1	3	0	3
Responsables	2	4	0	1
Buscan la verdad	3	1		
Descubren cosas útiles	3	0	3	1
Iguals que otras personas	2	1	1	1
Decididos / Seguros	1	0	3	2
Usan lentes y bata	2	7	2	6
Curiosos	3	10	8	6
Pacientes	1	5	1	1
Les gusta leer	2	3		
Interesados en la ciencia	2	3	2	1
Cuidadosos	0	1	0	4
Objetivos	0	2	1	0
Experimentan	0	1	3	3
Explican lo que ocurre			7	3
Precisos			2	1
Apasionados por su trabajo			2	2
Cultos			2	3

En esta tabla llama la atención que siete categorías obtienen 17 ó más menciones por parte de los alumnos. Seis de estas siete características son: tener amplios conocimientos, ser perseverantes, observadores, analíticos, inteligentes y curiosos. Estas características pueden ser comunes a más de una profesión, pero parecen seguir encerrando la idea arraigada del científico como alguien con cualidades intelectuales sobresalientes y con una capacidad de observación mayor que la de los demás. Cerrando la lista se encuentra la característica “usan bata y lentes”, que parece completar la idea común y tradicional de un científico. Esta idea, es probable que sea compartida por la mayoría de los estudiantes de bachillerato, así como por otras personas de la sociedad.

La lista anterior es indicadora de visiones deformadas de la ciencia y de imágenes iconográficas de los científicos, que se han transmitido desde los primeros cursos de ciencia que han recibido los alumnos, y que son muy resistentes aún a

intervenciones novedosas como ésta. Para poder tener la idea de que un científico puede ser una persona con las mismas cualidades y defectos que las personas de otras profesiones, se requiere una intervención más prolongada y no sólo de tipo experimental.

Hay otro tipo de características que fueron enunciadas por un grupo y no por el otro. Entre las categorías nombradas por el grupo de control y que no mencionó el grupo de trabajo están: “siguen el método científico”, “buscan la verdad” y “les gusta leer”. Estas dos primeras características están asociadas con algunas de las ideas que se buscaría erradicar de los estudiantes mediante el concepto de *naturaleza de la ciencia*. Afortunadamente, se aprecia que en el grupo de trabajo dichas características no figuraron.

Por otra parte, las características que el grupo de trabajo mencionó y que no fueron citadas por los estudiantes del grupo control fueron: “explican lo que ocurre”, “precisos”, “apasionados por su trabajo” y “cultos”. Si bien, estas cualidades no son exclusivas de los científicos, los estudiantes comienzan a considerar que la ciencia busca dar una explicación a lo que ocurre y que eso nos hace diferentes a otros profesionistas.

En la figura 7 se muestra el dibujo que elaboró uno de los alumnos del grupo de control, y en la figura 8, uno de los dibujos elaborados por estudiante del grupo de trabajo.

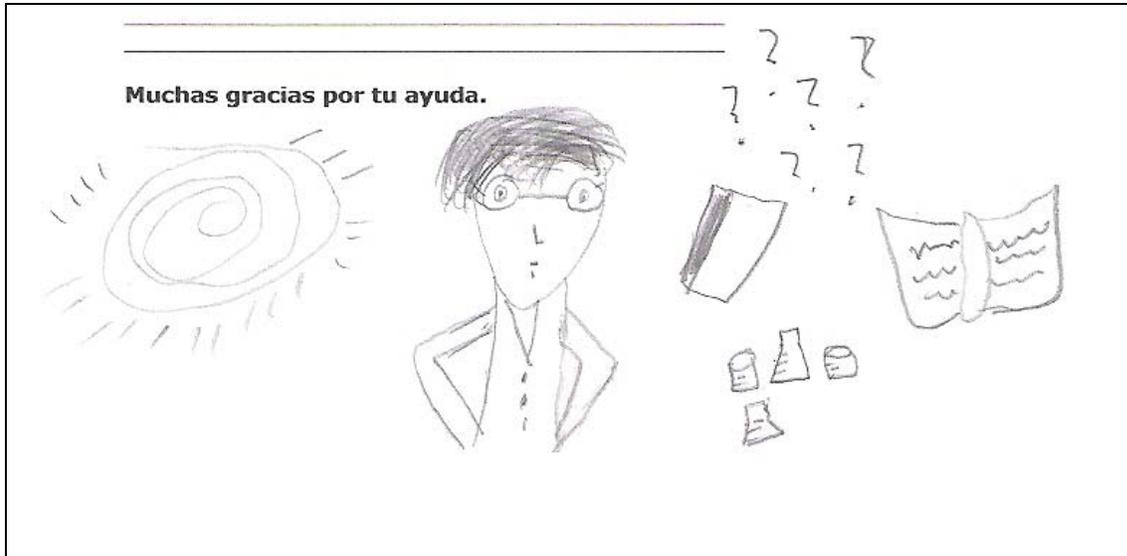


Figura 7. Dibujo de la pregunta abierta elaborado por un alumno del grupo de control durante la primera aplicación del cuestionario.

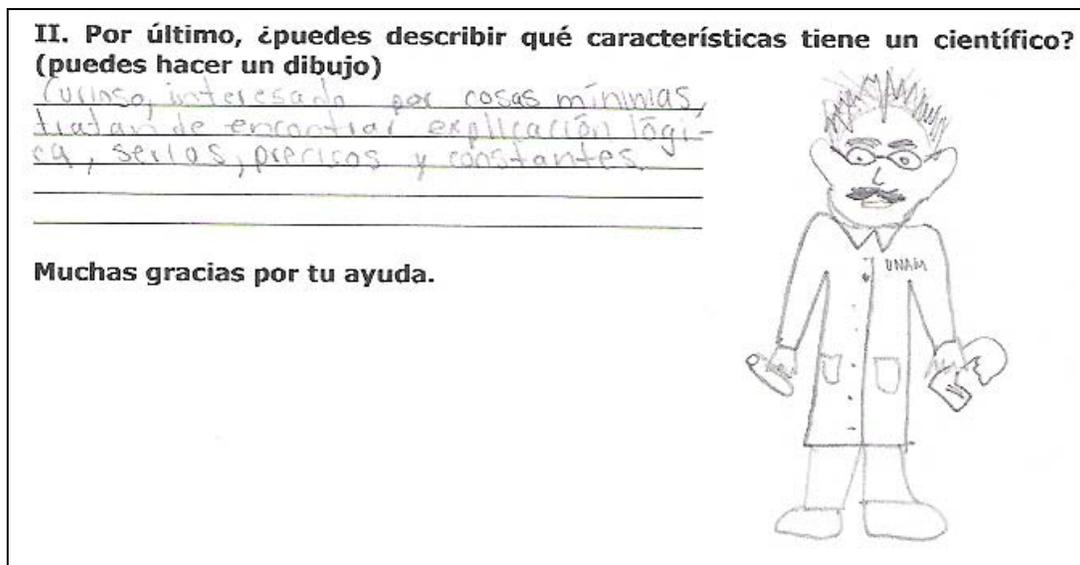


Figura 8. Dibujo de la pregunta abierta elaborado por un alumno del grupo de trabajo durante la primera aplicación del cuestionario.

Finalmente, en la figura 9 se muestran los dibujos correspondientes a los mismos alumnos en la segunda aplicación del cuestionario, donde puede apreciarse que la visión de un científico no fue modificada en forma alguna, en ninguno de los dos casos.

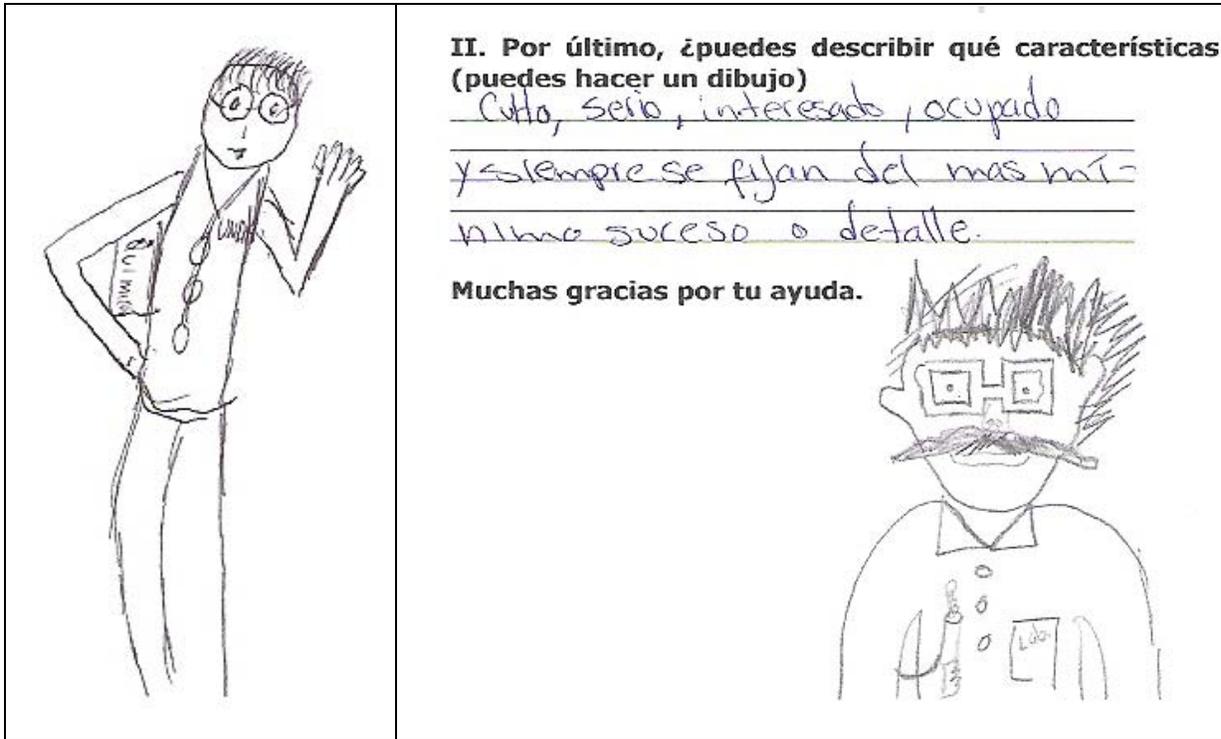


Figura 9. Dibujos de los alumnos anteriores durante la segunda aplicación del cuestionario.

Capítulo 5

Discusión de resultados

Discusión de resultados

En la introducción de esta tesis, se planteó la pregunta medular de esta investigación: ¿los estudiantes adquieren más elementos sobre la *naturaleza de la ciencia* mediante trabajos prácticos por indagación?

Dado que no se puede cambiar radicalmente el currículo escolar de los alumnos, ni, en muchas ocasiones, el tiempo en que podemos estar frente a ellos, es necesario buscar alternativas de enseñanza que nos den resultados mejores a los actuales, aunque no sea en todos los elementos planteados desde el inicio.

Así pues, la metodología que surge para dar respuesta a la pregunta pudiera parecer limitada en cuanto a sus logros, debido, principalmente, al poco tiempo que se tiene para trabajar estas cuestiones con los estudiantes. Tres trabajos prácticos aparentan ser muy pocos para obtener los avances deseados. También se podría argumentar que los instrumentos empleados, en este caso el cuestionario sobre *naturaleza de la ciencia* o las guías de informe proporcionadas a los alumnos, pudieran ser modificados o mejorados en su contenido. O bien, se podría decir que los trabajos prácticos por indagación que se proponen aquí pueden ampliarse para alcanzar un mejor desempeño de los alumnos.

No debe perderse de vista que, aún cuando solamente se seleccionaron diez reactivos de los veinticinco que contenía el cuestionario, el objetivo de mejorar las ideas de los estudiantes del grupo de trabajo en todos ellos, era muy ambicioso.

Es posible decir que la investigación hecha tenía mayores expectativas que los resultados obtenidos, o que ésta presenta aspectos mejorables en cualquier sentido; sin embargo, como se ha visto ya en el capítulo anterior, hay resultados alentadores que permiten pensar que un cambio en la forma de presentar las actividades experimentales puede acercar más a los estudiantes a la ciencia. Más

aún, con todas las limitaciones que pudieran encontrarse a este trabajo de tesis, se consiguieron elementos muy valiosos para los estudiantes que trabajaron en él, y se generaron aspectos que pueden ser base de nuevas investigaciones relativas.

Sobre la secuencia de actividades experimentales, se puede decir que el hacer los trabajos en grado creciente de apertura, ayudó a los estudiantes a no sentirse desorientados con la nueva forma de trabajar. También ayudó a que los resultados y conclusiones que obtuvieron fueran congruentes con sus investigaciones previas. De tal forma, los alumnos siempre vieron sentido a las partes que integraban la sesión por indagación.

Al respecto, y gracias a la experiencia adquirida en otros proyectos con actividades experimentales totalmente abiertas, se puede mencionar que este tipo de trabajos pueden causar confusión a los alumnos, quienes generalmente están acostumbrados a los trabajos prácticos donde todas las indicaciones les son proporcionadas. Esto no ocurrió en las sesiones por indagación propuestas en esta tesis.

Es importante remarcar que esta investigación no tomó en consideración como factor del buen funcionamiento de las actividades planteadas, una posible contaminación por una “indagación verbal”, es decir, el hecho de que los alumnos indaguen directamente con profesores y/o compañeros de otros grupos acerca de las actividades experimentales que ellos, a su vez, realizan sobre los temas trabajados.

Quizás, para muchos profesores, los temas seleccionados para los trabajos prácticos no fueron los mejores ni los más explotables. A esta objeción se le pueden dar dos respuestas. La primera de ellas es que este tipo de sesiones puede surgir de cualquier tema, sólo es cuestión de tener un poco de flexibilidad para adaptar las actividades ya existentes. La segunda respuesta es que se

escogieron esos temas porque son los que correspondían al tiempo y al programa del grupo que se proporcionó para la práctica docente.

El hecho de que los alumnos se sintieran con la libertad para diseñar experimentos no fue motivo para que obtuvieran resultados divergentes e inconexos. Por el contrario, ayudados de sus reflexiones y recapitulaciones durante la experimentación, los alumnos apreciaron el sentido de las diferentes etapas de sus investigaciones.

Se suele dar poca importancia a los aspectos actitudinales de la educación, pensando que la desmotivación en el trabajo de laboratorio se debe a factores externos de la educación y no a la educación misma. Esto ya fue tratado en el marco teórico; sin embargo, se rescata para destacar el papel primordial que este tipo de actividades tiene en el interés de los estudiantes por la ciencia. Los alumnos se mostraron motivados y contentos durante las sesiones por indagación.

Desde luego, intervienen otros factores como el clima del aula, las instalaciones y la disposición de los reactivos, pero en términos generales, los alumnos manifestaron un mayor bienestar en estas clases de ciencia que en muchas otras que tuvieron en el pasado. Y esto es muy difícil de medir, aún cuando resulta vital para los profesores.

En cuanto al tipo de informes que los alumnos presentaron, se puede hacer notar que, si bien tienen errores gramaticales y/o conceptuales, éstos no estarán ausentes de otro tipo de informes en otro tipo de actividades. Es un hecho que se va guiando demasiado al estudiante con la hoja proporcionada, pero esto se debe a que no han tenido suficientes experiencias de indagación como para considerar los elementos ahí presentes por sí mismos. Además, estas hojas, a juicio de los propios alumnos, les han ayudado a la reflexión sobre lo que quieren conseguir en cada actividad. Sin embargo, una investigación alterna podría consistir en el uso de las actividades prácticas sin el apoyo del cuestionario

Se han ido señalando en la sección de resultados, los elementos que los alumnos van incorporando de un trabajo a otro, como por ejemplo, el que tomen conciencia de la importancia de sus lecturas e investigaciones previas. Éste es un elemento primordial para la actividad de un científico, quien pasa gran parte de su tiempo leyendo y estudiando, y no sólo trabajando en un laboratorio.

Con respecto al instrumento para evaluar las ideas sobre la *naturaleza de la ciencia*, se puede señalar que, aún cuando éste es perfectible en muchos sentidos, se consideró conveniente usarlo con algunas modificaciones, por tener un documento base para la formulación de los reactivos, así como el poco tiempo que les llevaba a los alumnos contestarlo, incluso para aquellos que reflexionaban más. La mayor parte de los instrumentos revisados, resultaban de mayor complejidad o mucho más largos, lo cual los hacía inasequibles para estudiantes de bachillerato.

Es muy posible que algunos de los reactivos no tuvieran la cantidad de respuestas correctas esperadas, no tanto por la ausencia de “ideas de personas informadas” relativas a dichos reactivos, por parte de los estudiantes, sino por un problema en la redacción de los mismos. Por ejemplo, “una hipótesis que no puede ser puesta a prueba no puede ser científicamente útil”, que tiene una doble negación, o “la experimentación donde sólo se cambia un parámetro a la vez no es posible en algunas áreas de la ciencia”, que puede resultar confusa. Sin embargo, justo como se menciona en la metodología, los reactivos sufrieron pocas o nulas modificaciones para que el instrumento no tuviera que ser validado de nueva cuenta. Aún así, los errores inherentes a la traducción o a la redacción original, ocasionaron confusión en algunos alumnos.

Por otra parte, la presencia de la opción “ni de acuerdo ni en desacuerdo” ocasionó que muchos estudiantes evitaran reflexionar demasiado en algún ítem. En caso de aplicar este cuestionario en un futuro, se hará hincapié a los alumnos

que, en lo posible, escojan estar de acuerdo o en desacuerdo con cada afirmación.

Considerando un nivel de confianza del 90%, ó 95% cuando así se indique, los alumnos del grupo de trabajo tuvieron mejor desempeño en seis de los veinticinco reactivos del cuestionario que los alumnos del grupo de control, aunque sólo tres de ellos corresponden a los reactivos que se seleccionaron como “susceptibles de modificación”. Vale la pena discutir sobre cada caso por separado:

- Reactivo 7. No existen pasos fijos que los científicos siguen para llegar a su conocimiento. En este caso, sí se puede hablar de una “visión informada sobre esta idea” que los alumnos del grupo de trabajo adquirieron debido a la intervención con ellos. El tipo de trabajos prácticos por indagación promueve el planteamiento de hipótesis, la reformulación de las mismas, el diseño de experimentos, etc., no siempre en la misma secuencia. La prueba estadística realizada apoya esta afirmación.
- Reactivo 8. Tarde o temprano, la validez de las aseveraciones científicas se establece gracias a las observaciones y/o mediciones que se hacen de los fenómenos. A pesar de que este reactivo se debía favorecer mediante la intervención con el grupo, y que el grupo de trabajo tuvo mejores resultados que el de control, la prueba estadística realizada indica que el grupo de trabajo no cambió mucho su opinión respecto a esta idea con los trabajos por indagación (tampoco varió el grupo de control). Dicho de otra forma, no hay evidencia estadística de evolución en este reactivo para el grupo de trabajo utilizando la indagación. Como nota adicional, esta afirmación, aunque podría significar que la ciencia sólo utiliza “hechos” para cambiar sus modelos, teniendo con ello tintes positivistas, no quiere decir necesariamente eso. Si se observa el reactivo 23, se puede ver que estos estándares no sólo consideran los datos experimentales como fuente de conocimiento. Lo que resulta importante del reactivo es que, finalmente, la

realidad se puede explicar y/o predecir con aseveraciones científicas, y justamente el que ocurra esta congruencia entre hechos y enunciaciones, es la que da validez a la ciencia. De cualquier forma, en otro tipo de estrategias didácticas se puede hacer notar que, en ocasiones, son otros enunciados teóricos los que dan validez a algunas aseveraciones científicas.

- Reactivo 13. Los científicos generalmente trabajan solos mientras tratan de entender el mundo. Al igual que en el primer caso, también hay evidencia escrita y estadística, al 90% y 95% de confianza, de que esta idea informada fue adquirida por los estudiantes del grupo de trabajo gracias a la intervención. El trabajar en pequeños grupos y el compartir información y resultados, son determinantes para este logro.

Los reactivos 14, 23 y 25 se comentan juntos porque corresponden al mismo caso. En ellos, el grupo de trabajo se desempeñó mejor que el de control, sólo que estos tres reactivos no fueron considerados dentro de los que pueden ser modificables con la reforma experimental. Además, si se revisa la prueba estadística, se observa que el grupo de trabajo no tiene cambios apreciables en sus respuestas para estas ideas, antes y después de los trabajos prácticos. Eso significa que esas ideas “informadas” ya eran parte de su acervo, y no fueron adquiridas por medio de la intervención con ellos. Se observa también que estas ideas no corresponden en exclusiva a un ambiente de laboratorio, por lo que requieren otro tipo de estrategias para modificarse.

- Reactivo 14. Los científicos opinan con menos prejuicios sobre asuntos públicos que otros miembros de la sociedad.
- Reactivo 23. Los científicos pueden aprender sobre el mundo únicamente haciendo experimentos cuidadosamente controlados.
- Reactivo 25. La validez del conocimiento científico depende en gran medida de las creencias y costumbres del país donde vive el científico.

Discusión de resultados

Por otra parte, el grupo de control obtuvo mejor resultado que el grupo de trabajo en uno de los enunciados, el 19. Este reactivo sí era parte de aquellos seleccionados para ser modificados por la propuesta experimental:

- Reactivo 19. La palabra “teoría” en ciencia significa una “corazonada” o una suposición acerca de cómo funciona el mundo. Aunque ya se hizo mención de las posibles equivocaciones semánticas con el término “teoría” en la sección de resultados, lo que interesa resaltar es que, de acuerdo con la prueba estadística, ni uno ni otro grupo cambiaron en esta idea durante el ciclo escolar. Por lo tanto, el “mejor desempeño” que logró el grupo de control, lo obtuvo desde antes de empezar el ciclo escolar siquiera. En otras palabras, si bien la indagación no mejoró esta idea en el grupo de trabajo, cosa que tampoco hizo la enseñanza tradicional con el grupo de control, no empeoró los resultados. También se puede decir que este reactivo es difícil de tratar con los trabajos prácticos solamente.

El caso de los dos reactivos siguientes es semejante, por lo que se analizarán juntos. En el primero de ellos (reactivo 17), el grupo de control mejoró en esa idea durante el transcurso del ciclo escolar. En el segundo reactivo (21), el grupo de trabajo logró adquirir una noción más informada al respecto, después de las sesiones por indagación. En ambos casos, sin embargo, no hay evidencia de diferencia estadística entre los resultados de ambos grupos en ambos reactivos, los cuales además no fueron considerados como susceptibles de modificación por medio de una reforma experimental.

- 17. Las explicaciones sobrenaturales no tienen cabida en la ciencia.
- 21. Los científicos tienen menos interés en el arte que la gente de otras profesiones. Quizás este enunciado tenga que revisarse con más cuidado. De inicio no fue considerada como modificable, y aunque su redacción hace pensar que unas actividades experimentales no pueden alterar la idea, se puede suponer que el cambio positivo que se manifestó en el grupo de

trabajo fue consecuencia de que los alumnos relacionaron el reactivo 11 (que también se analiza en el siguiente apartado) con éste. Al inicio del curso, sólo un 35% de los alumnos concordaba con ésta. Al finalizar el curso, 65% de ellos lograron estar de acuerdo. Si bien no es el resultado que se esperaría, se puede apreciar un avance notable en esta idea, sobre todo, considerando el poco tiempo que se tuvo para interactuar con ellos.

El último reactivo que se analizó, también es de interés. Se trata de uno de aquéllos que fueron seleccionados para modificarse con la indagación. Aunque el grupo de trabajo mejoró su idea, por medio de la prueba estadística se determinó que no hay diferencias entre los grupos.

- 11. Inventar ideas acerca de cómo funciona el mundo es tan creativo como escribir poesía o componer música. Al igual que en el ítem anterior, los estudiantes del grupo de trabajo mejoraron considerablemente su idea sobre esta aseveración. Un 30% más de alumnos tomaron en cuenta la creatividad como un elemento esencial del científico, gracias a que muchos de ellos la utilizaron durante sus diseños experimentales. Es cierto que el grupo de control también tuvo un avance y logró, finalmente, el mismo resultado que el grupo experimental; sin embargo, se puede considerar que la idea fue asimilada en el grupo de trabajo si se toma en cuenta el efecto sobre el reactivo anterior.

Con respecto a la sección de la descripción de un científico, lo único que puede comentarse es que las visiones deformadas de la ciencia que los alumnos han adquirido son muy persistentes. La imagen de una ciencia individualista, presente cuando se dibuja a científicos solitarios y/o excéntricos, elitista, en el caso de un científico de sexo masculino, por ejemplo, y descontextualizada, en el caso en que se imagina a los científicos como aislados y abstraídos en sus investigaciones, sigue presente en sus dibujos o en las características que los estudiantes atribuyen a los científicos. Lo que podría argumentarse es el poco tiempo con el

Discusión de resultados

que se contó para la implementación de esta reforma educativa. Pero esto no ocurre solamente con estas ideas previas, ya que aún con cursos completos de química persisten concepciones alternativas como la de un equilibrio químico estático, la presencia de aire entre las partículas, o que la energía se libera al romper enlaces, entre muchas otras.

Capítulo 6

Conclusiones

Conclusiones

En esta investigación se ha mostrado que existen alternativas reales, concretas, sobre actividades experimentales que involucran más a los estudiantes y que obtienen mejores resultados desde el punto de vista axiológico, pues los alumnos se encuentran más motivados e interesados en las actividades planteadas. Además, estas actividades no descuidan la parte disciplinaria por enfocarse más en la metodología científica.

Como respuesta a la pregunta que originó la investigación, se puede decir que los trabajos prácticos por indagación pueden modificar algunas ideas de los estudiantes sobre la *naturaleza de la ciencia*, pues ellos llegan a convencerse de que la ciencia se construye en comunidad, que no sigue un método rígido y que el diseñar experimentos requiere creatividad. Si esta serie de actividades se implementaran desde los cursos básicos, es muy probable que se adquirieran muchas otras de las “ideas de personas informadas” sobre este concepto.

La actividad científica no se reduce a la experimentación, por lo cual este tipo de estrategias no son las únicas que se deben planear para educar científicamente a los alumnos. De cualquier modo, la indagación resulta ser una herramienta valiosa para brindar una mejor visión de la ciencia a los estudiantes, sin tener que enseñar explícitamente el concepto *naturaleza de la ciencia* en una asignatura específica.

Uno de los objetivos de la indagación no alcanzado, que puede plantearse para una posterior investigación, es el que los alumnos lleguen a proponer un experimento totalmente novedoso en un tema específico del programa, alejado de aquéllos ya propuestos de alguna forma en los manuales. Ello requiere que los alumnos estén más acostumbrados al empleo de actividades abiertas, para lo cual se recomienda que los profesores trabajemos en academias, que los alumnos y profesores participemos en foros de difusión de actividades novedosas, que

demos a conocer propuestas experimentales en páginas electrónicas, y eventualmente, que las incorporemos al currículo. También es conveniente que se evite, en lo posible, la contaminación por indagación verbal discutida previamente.

Un elemento que puede resultar muy provechoso en la secuencia de los trabajos prácticos presentados, es una plática entre los alumnos y el profesor al finalizar cada sesión por indagación. En ella, se podría discutir con los estudiantes acerca de cuáles fueron las características del trabajo científico que emplearon en el trabajo práctico. Esta actividad metacognitiva puede ayudar a los estudiantes a hacerse conscientes de ciertos elementos sobre la *naturaleza de la ciencia* que, quizá, pasaron por alto.

A la luz de los resultados obtenidos en esta investigación, se puede decir que con una alternativa de enseñanza experimental (la indagación), aún cuando fue aplicada durante un solo semestre, se obtuvieron mejorías en los alumnos, en aspectos conceptuales, procedimentales y actitudinales. Aquellos elementos que se han señalado como perfectibles a lo largo de esta tesis, pueden propiciar investigaciones nuevas, en las cuales pueden cambiarse los trabajos prácticos presentados, los instrumentos de evaluación, o ambas cosas, y seguramente los resultados serán aún más alentadores que los presentados.

Anexos

Anexo A

Instrumento de Bell y colaboradores

Views on the Nature of Science Survey

Rank each of these from "5" Strongly Agree to "1" Strongly Disagree.

	Strongly Agree	Agree	Disagree	Strongly Disagree
1. Observations are used to make scientific claims	5	4	3	2 1
2. Observations support rather than prove theories.	5	4	3	2 1
3. Scientists always use the scientific method to design their experiments.	5	4	3	2 1
4. Science does not rely only on evidence.	5	4	3	2 1
5. Scientists use guesses and creativity to do science	5	4	3	2 1
6. Scientific theories change with new evidence.	5	4	3	2 1
7. Scientific theories change with new ways of looking at old evidence.	5	4	3	2 1
8. Scientific theories can predict old and new events.	5	4	3	2 1
9. Scientists use creativity and art in their work.	5	4	3	2 1
10. Science explains the world as it "really" is.	5	4	3	2 1
11. Science is a search for truth about the world.	5	4	3	2 1
12. Scientists are biased by what they want to believe rather than by what observations they see.	5	4	3	2 1
13. Science is influenced by culture and society.	5	4	3	2 1
14. Science is a process of discovering things and revealing things we can't see with our eyes.	5	4	3	2 1

Draw a scientist in the space below. Explain what they are doing in your drawing.

Anexo B

Instrumento de Good, Cummins y Lyon

Ideas on Natural Science

Do you agree or disagree with the following statements about the natural sciences? On the response sheet circle agree or disagree and explain why you believe your position is correct.

1. Natural science presumes that the things and events in the universe occur in consistent patterns that are comprehensible through careful, systematic study.
2. Scientists are confident they can discover patterns in all of nature.
3. Scientists assume that the universe is a vast single system in which the basic rules are the same everywhere.
4. The modification of ideas, rather than their outright rejection, is the norm in the natural sciences.
5. Scientists assume that even if there is no way to secure complete and absolute truth, increasingly accurate approximations can be made to account for the world and how it works.
6. Continuity and stability are as characteristic of science as change is, and confidence is as prevalent as tentativeness.
7. There are many matters that cannot usefully be examined in a scientific way.
8. Within a field of natural science (e.g., biology, chemistry, physics) there are common understandings about what constitutes an investigation that is scientifically valid.
9. There is no fixed set of steps that scientists follow that leads them to scientific knowledge.
10. Sooner or later, the validity of scientific claims is settled by referring to observations of phenomena.
11. Experimentation, where just one condition at a time is varied, is not possible in some areas of the natural sciences.

12. A hypothesis that cannot in principle be put to the test of evidence is not scientifically useful.
13. Inventing ideas about how the world works is just as creative as writing poetry or composing music.
14. Theories in science must be logically or mathematically sound and use a significant body of valid observations.
15. Scientists usually work alone as they try to understand the natural world.
16. Scientists are less likely to be biased in public matters than are other members of society.
17. The vast majority of scientists stay within the bounds of ethical professional behavior.
18. The purposes of science and technology are about the same.
19. Change and continuity are persistent features of science.
20. Supernatural explanations of natural phenomena have no place in science.
21. Knowledge of nature generated by natural scientists is no more reliable than other knowledge.
22. The word “theory” in science means a hunch or a guess about how some part of the world works.
23. Laws in science are not subject to change.
24. Scientists have less interest in the fine arts than people in other professions.
25. A scientist is more willing to change her mind when new evidence appears than are other people.
26. Only by doing carefully controlled experiments can scientists learn about our world.
27. Most scientific discoveries are useful to people.
28. The validity of scientific knowledge depends heavily on the beliefs and customs of the country in which the scientists live.

Anexo C

Instrumento elaborado para la aplicación de la estrategia

Nombre: _____ Edad: _____

I. Marca con una cruz el número que corresponda a la opinión que tienes sobre cada uno de los siguientes enunciados, como en este ejemplo:

	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
La ciencia ha ayudado a resolver problemas nacionales	5	4	3	2	1
1. Los científicos suponen que los eventos que ocurren en el universo siguen patrones o tendencias que pueden conocerse mediante estudios cuidadosos y sistemáticos	5	4	3	2	1
2. Los científicos suponen que el universo es un gran sistema en el cual se aplican siempre las mismas reglas básicas	5	4	3	2	1
3. Para la ciencia es preferible modificar las ideas en lugar de rechazarlas rotundamente	5	4	3	2	1
4. Los científicos asumen que, si bien no es posible tener la verdad completa y absoluta, sí se pueden tener explicaciones muy cercanas acerca de cómo funciona el mundo	5	4	3	2	1
5. La estabilidad y la continuidad, así como el cambio, son elementos que caracterizan a la ciencia	5	4	3	2	1
6. Hay muchas cosas que no pueden ser examinadas de forma científica	5	4	3	2	1
7. No existen pasos fijos que los científicos siguen para llegar a su conocimiento	5	4	3	2	1
8. Tarde o temprano, la validez de las aseveraciones científicas se establece gracias a las observaciones y/o mediciones que se hacen de los fenómenos	5	4	3	2	1
9. La experimentación donde sólo se cambia un parámetro a la vez no es posible en algunas áreas de la ciencia	5	4	3	2	1
10. Una hipótesis que no puede ser puesta a prueba no puede ser científicamente útil	5	4	3	2	1
11. Inventar ideas acerca de cómo funciona el	5	4	3	2	1

mundo es tan creativo como escribir poesía o componer música					
12. Las teorías científicas deben sonar lógicas y deben usar una cantidad importante de observaciones válidas	5	4	3	2	1
13. Los científicos generalmente trabajan solos mientras tratan de entender el mundo	5	4	3	2	1
14. Los científicos opinan con menos prejuicios sobre asuntos públicos que otros miembros de la sociedad	5	4	3	2	1
15. La mayoría de los científicos permanecen dentro de los límites éticos de su profesión	5	4	3	2	1
16. Los propósitos de la ciencia y de la tecnología son casi los mismos	5	4	3	2	1
17. Las explicaciones sobrenaturales no tienen cabida en la ciencia	5	4	3	2	1
18. El conocimiento científico no es más confiable que otro tipo de conocimiento	5	4	3	2	1
19. La palabra “teoría” en ciencia significa una “corazonada” o una suposición acerca de cómo funciona una parte del mundo	5	4	3	2	1
20. Las leyes científicas no cambian	5	4	3	2	1
21. Los científicos tienen menos interés en el arte que la gente de otras profesiones	5	4	3	2	1
22. Los científicos están más dispuestos a cambiar su forma de pensar cuando aparece evidencia nueva que otro tipo de personas	5	4	3	2	1
23. Los científicos pueden aprender sobre el mundo únicamente haciendo experimentos cuidadosamente controlados	5	4	3	2	1
24. La mayoría de los descubrimientos científicos son útiles para la sociedad	5	4	3	2	1
25. La validez del conocimiento científico depende en gran medida de las creencias y las costumbres del país donde vive el científico	5	4	3	2	1

II. Por último, ¿puedes describir qué características tiene un científico? (puedes hacer un dibujo)

Muchas gracias por tu ayuda.

Anexo D

Primer trabajo práctico por indagación sobre el tema de esterificación

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL POR INDAGACIÓN SOBRE LA ESTERIFICACIÓN DE FISHER

Descripción global de la actividad: Se pide a los alumnos una investigación acerca de la esterificación de Fisher. Con su ayuda, se propone un procedimiento experimental que se utiliza frente a ellos, para obtener el benzoato de metilo. Posteriormente, ellos realizarán una reacción semejante utilizando otros alcoholes y otros ácidos carboxílicos disponibles en el laboratorio. Con ello se espera que conozcan las reacciones por condensación y conozcan algunas propiedades de los ésteres: su aroma y su inmiscibilidad en agua.

Antecedentes de la actividad: Los alumnos ya han tenido una presentación sobre grupos funcionales. También ya han visto en clase que los medios ácidos favorecen la deshidratación. Una sesión antes de la experimentación, se pide a los alumnos una investigación acerca de las reacciones entre alcoholes y ácidos carboxílicos (esterificación de Fisher).

Explicación de la actividad: Al inicio de la sesión, el profesor pregunta al grupo cuál es la reacción para obtener un éster a partir de un alcohol y un ácido. Una vez obtenida la respuesta, se pide que entre todos surja una propuesta de un dispositivo experimental que considere las condiciones de reacción que ellos encontraron en la literatura, de tal forma que se pueda elaborar un éster en el laboratorio.

Con un poco de orientación del profesor, se diseña el dispositivo experimental (que consiste en un baño maría con un tubo de ensayo, al cual se le ha colocado un tapón horadado y una pipeta beral con su extremo superior cortado, que nos servirá como condensador, como en la figura 1). Es entonces cuando el profesor hace una demostración frente a grupo utilizando ácido benzoico (aproximadamente 1 g) y alcohol metílico (aproximadamente 4 mL), así como unas gotas de ácido clorhídrico concentrado. Se les hace reconocer el aroma de los reactivos con precaución. Después se hacen reaccionar en el dispositivo las sustancias, calentando a baño maría. (Esta demostración se hace porque no están familiarizados con esta técnica experimental.)

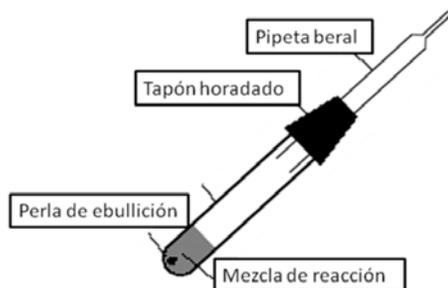


Figura 1

Debido a que la técnica requiere que el tubo con las sustancias se caliente durante 10 minutos y después se enfríe, hay tiempo para preguntarles si investigaron cómo reconocer si se efectuó la reacción. Es muy probable que mencionen que se sabe que se ha obtenido un éster por su aroma frutal, por lo que al terminar la experimentación, se destapa el tubo frente a ellos para que puedan percibir el aroma a durazno que la nueva sustancia desprende.

Una vez hecho esto, se pide a cada equipo que escoja dos ácidos y dos alcoholes disponibles en el laboratorio y que repitan el experimento para obtener el éster que corresponda a las sustancias que seleccionaron. También se les solicita que hagan un informe donde indiquen para qué se hace cada paso del procedimiento experimental y cuáles son los ésteres que están obteniendo.

Finalmente, con ayuda de su investigación, se les invita a que formulen las ecuaciones químicas de las sustancias que están formando. Algunas de las posibles combinaciones resultantes son:

Ácido carboxílico	Alcohol	Éster
Ácido propiónico	Alcohol etílico	Propanoato de etilo (frutas)
Ácido butírico	Alcohol isoamílico	Butirato de isoamilo: (pera)
Ácido acético	Alcohol isoamílico	Acetato de isoamilo: (plátano)
Ácido acético	Alcohol butílico	Acetato de butilo: (plátano)
Ácido salicílico	Alcohol metílico	Salicilato de metilo: (yerbabuena)
Ácido butírico	Alcohol metílico	Butirato de metilo: (piña)

Pudiera ocurrir que algún alumno preguntara si de verdad es necesario el medio ácido. En este caso, se le permitirá que haga otro experimento utilizando los reactivos necesarios y añadiendo un medio básico, para que él observe el resultado. No obstante, es importante remarcarle el hecho de conservar el resto del procedimiento experimental tal como está propuesto, para que todos aprecien la importancia de mover una sola variable por experimento. Si ningún alumno se pregunta sobre este asunto, el profesor puede sugerir que algún equipo haga la prueba utilizando una base.

Duración aproximada: 2 horas

Variables que deben hacerse notar:

El medio ácido

La temperatura

Grado de indagación: 1. Conocen el problema, y aunque ellos contribuyen a proponer el método experimental, el profesor orienta y después establece el mismo. Lo único que les queda por desarrollar es el resultado de las reacciones que ellos propongan.

PRECAUCIÓN:

- El HCl causa quemaduras. Se debe utilizar el gotero.
- La mayoría de los alcoholes y ácidos son tóxicos. Hay que lavarse las manos después de la actividad y de preferencia usar guantes y lentes.
- Los alcoholes y los ésteres son inflamables

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
QUÍMICA IVEQUIPO: _____

1. Escriban la reacción general para la obtención de ésteres a partir de alcoholes y ácidos carboxílicos, de acuerdo con la investigación.

2. Hagan una descripción amplia (pueden utilizar un dibujo) de su diseño experimental. Expliquen para qué se hace cada uno de los pasos.

3. ¿cuál será la evidencia sensorial (de acuerdo con la investigación) que nos indica que efectivamente hubo una reacción química?

4. Llenen la siguiente tabla considerando las sustancias que estuvieron utilizando:

Alcohol	Ácido carboxílico	Éster obtenido

5. Escriban las ecuaciones químicas que representen las reacciones que efectuaron para obtener los ésteres.

6. ¿Existirá uno o más factores determinantes para que la reacción ocurra? ¿Cuáles?

Anexo E

Segundo trabajo práctico por indagación sobre el tema de polimerización por condensación

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL POR INDAGACIÓN SOBRE LA OBTENCIÓN DE NYLON 6-10

Descripción global de la actividad: En clase se habla sobre la importancia del nylon en nuestra vida cotidiana y se les pregunta si saben cómo se obtiene. Posteriormente se pide a los estudiantes que investiguen acerca de la elaboración del nylon (específicamente del nylon 6-10). Ya con esa investigación realizada, se les pide que obtengan una fibra de nylon en el laboratorio. Cada equipo propone lo que requiere para su propio diseño experimental y experimenta diferentes condiciones y volúmenes de reactivos para obtener una fibra que les resulte satisfactoria.

Antecedentes de la actividad: Los alumnos ya han visto introducción a los polímeros y ya han visto con anterioridad reacciones de condensación. Han comenzado a observar la relación entre las macromoléculas y las propiedades de éstas. Harán una investigación sobre la obtención del nylon 6-10 y sobre los reactivos involucrados, la cual se dejará una clase antes de la actividad.

Explicación de la actividad: Al inicio de la sesión, el profesor pregunta al grupo cuál es la manera de obtener el nylon 6-10 en el laboratorio. Aunque es posible que conozcan cuáles son los reactivos involucrados, no es muy probable que conozcan de qué forma se hacen reaccionar, así que se les pide que ellos propongan una forma de obtener la fibra a partir de las disoluciones de reactivo. Cada equipo diseña una forma de hacer su reacción teniendo solamente como restricción que disponen únicamente de 10 mL de cada disolución.

Antes de que los estudiantes pidan su material, se les pedirá que expongan brevemente qué van a hacer para que sus compañeros puedan estar al tanto de qué va a intentar cada equipo. También se mencionan las precauciones que se deben considerar. Luego piden su material y se les dan sus reactivos para que comiencen su experimentación. Dado que es una experimentación abierta, quizá quieran calentar los reactivos, enfriarlos, mezclarlos vigorosamente, etc. Es probable que obtengan fibras de diferente calidad y ellos determinarán cuál fue el diseño con el que se obtiene la mejor fibra.

Cuando ellos finalicen sus experimentos, el profesor hace una demostración frente a todo el grupo agregando 5 mL de cloruro de sebacoilo (o sebacilo) 0.2 M, a 5 mL de hexametildiamina (0.5 M) en un vaso de precipitados, sin agitar, y añadiendo lentamente el primero (de preferencia, resbalando el líquido en la pared del vaso). Luego, con unas pinzas se toma la fibra en la interfase de los dos líquidos y comienza a enrollarse sobre un lápiz o sobre una varilla de vidrio. Se compara la fibra obtenida con la que lograron obtener ellos.

Finalmente, con ayuda de su investigación, se les pide que formulen la ecuación química de la obtención del nylon 6-10.

Si alguno se interesa en el HCl que se genera como producto secundario, puede pedírsele que en la demostración mida el pH de los reactivos y que mida el pH de la fibra húmeda.

De igual forma se les pide un informe experimental donde indiquen cada uno de sus experimentos propuestos y el resultado respectivo. Además se les pedirá que observen las propiedades de la nueva sustancia contrastándolas con las propiedades de los reactivos.

Duración aproximada: 2 horas

Variables que deben hacerse notar:

El orden de los reactivos

La forma de mezclarlos

El volumen de los reactivos

La concentración de las disoluciones

Grado de indagación: 2. Sólo conocen el problema (obtener la fibra), por lo que a ellos les corresponde, tanto proponer el método experimental, como obtener una fibra de nylon 6-10.

PRECAUCIÓN:

- Se utiliza una disolución de hexametildiamina con hidróxido de sodio, por lo cual es conveniente utilizar guantes para evitar quemaduras.
- El cloruro de sebacoilo (o sebacilo) y el hexano son irritantes para la piel, los ojos y el sistema respiratorio. Debe evitarse la inhalación y se recomienda el uso de guantes. Además el hexano es inflamable, así que debe tenerse cuidado al preparar la disolución del cloruro de sebacilo.
- Antes de manipular la fibra, hay que lavarla con agua o alcohol.

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
QUÍMICA IV**

EQUIPO: _____

1. Escriban la reacción general para la obtención de nylon 6-10, de acuerdo con la investigación que realizaron.

ANTES DE QUE HAGAN CUALQUIER EXPERIMENTACIÓN

2. Considerando su investigación, ¿creen que existan algunos factores importantes para que esta reacción pueda efectuarse? ¿Cuáles son?

3. Seleccionen un factor que consideren decisivo para la reacción. ¿Cómo lo pueden verificar?

4. Hagan una descripción amplia (pueden utilizar dibujos) de su diseño experimental completo. Expliquen para qué se hace cada uno de los pasos.

DESPUÉS DE LA EXPERIMENTACIÓN

5. ¿cuál será la evidencia (de acuerdo con su investigación) que nos indica que se obtuvo el nylon?

6. ¿Creen que efectivamente pudieron poner a prueba el factor que seleccionaron en su experimentación? ¿Por qué?

7. El factor seleccionado, ¿fue determinante en la obtención del nylon? ¿Por qué?

Anexo F

Tercer trabajo práctico por indagación sobre el tema de polimerización por adición

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL POR INDAGACIÓN SOBRE LA OBTENCIÓN DE POLIMETACRILATO DE METILO (PMMA)

Descripción global de la actividad: Se pedirá una investigación a los alumnos sobre las reacciones de polimerización por adición, resaltando el papel de los iniciadores e inhibidores. Asimismo, se introducirá la actividad con una breve plática sobre las variables involucradas en una experimentación. Ya en la sesión experimental, se les pedirá que elaboren polimetacrilato de metilo considerando la investigación que realizaron. Por equipo, se entregará una guía para los alumnos, en la cual ellos plantearán una serie de preguntas que los lleven a diseñar un experimento que los conduzca a conocer el papel de las diferentes sustancias involucradas en la elaboración del polímero. Esta sesión ya involucra la comunicación de sus resultados a todo el grupo.

Antecedentes de la actividad: Los alumnos ya han visto introducción a los polímeros y ya han visto con anterioridad reacciones de condensación. Han comenzado a observar la relación entre las macromoléculas y las propiedades de éstas. Hicieron ya dos actividades prácticas por indagación, además de tener hecha una investigación de polímeros por adición. Se hace también una breve introducción al manejo de variables en el laboratorio.

Explicación de la actividad: Una sesión antes de la actividad experimental, se hace una breve plática sobre el manejo de las variables en el diseño de experimentos científicos. También se pide que investiguen la polimerización por adición y la forma de elaborar el PMMA. Ya en la sesión experimental, sólo se les da una guía por equipo y se les pide que al finalizar la sesión elaboren el polimetil metacrilato.

Antes de que los estudiantes pidan su material, se les pedirá que expongan brevemente qué van a hacer para que sus compañeros puedan estar al tanto de qué va a intentar cada equipo. También se mencionan las precauciones que se deben considerar. Luego piden su material y se les dan sus reactivos para que comiencen su experimentación.

Nuevamente es una experimentación abierta, por lo cual el profesor deberá acercarse a cada grupo para saber qué es lo que está intentando cada uno, y saber si están haciendo verdaderamente lo que se plantearon. Contarán sólo con 25 mL de metacrilato de metilo.

Cuando ellos finalicen sus experimentos, el profesor pide a cada equipo que exponga brevemente los resultados de sus investigaciones y si lograron obtener el polímero requerido. Asimismo, ya en grupo, se discute la función del inhibidor (hidroquinona) y del iniciador (peróxido de benzoilo). Finalmente, con ayuda de su investigación, se les pide que formulen la ecuación química de la obtención del PMMA.

Se les pide un informe experimental donde indiquen cada uno de sus experimentos propuestos y el resultado respectivo. Además se les pedirá que incluyan la guía que utilizaron durante su diseño experimental.

Duración aproximada: 4 horas (en 2 sesiones)

Variables que deben hacerse notar:

Inhibidor

Iniciador

Temperatura.

Grado de indagación: 3. Si bien en la guía tienen planteadas algunas preguntas, se parte sólo del problema (obtener el PMMA) y ellos se irán cuestionando diferentes cosas a partir de lo que hayan investigado. Además, a ellos les corresponde tanto proponer el método experimental, como obtener conclusiones.

PRECAUCIÓN:

- Desde una sesión anterior, hay que pedirles a los alumnos por lo menos 2 tubos de ensayo por equipo, ya que en esta experimentación es común que los tubos queden inservibles por la formación del polímero. De igual forma, si llegaran a romper los tubos para observar el polímero hay que tener precaución al hacerlo y hay que retirar todos los residuos del material.
- Se sugiere el uso de guantes para el manejo de las sustancias.
- Hay que lavar el polímero perfectamente antes de manipularlo para evitar el contacto con los reactivos remanentes.

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
QUÍMICA IV**

EQUIPO: _____

1. Escriban la reacción general para la obtención polimetacrilato de metilo (PMMA), de acuerdo con la investigación que realizaron.

ANTES DE QUE HAGAN CUALQUIER EXPERIMENTACIÓN

2. Considerando su investigación, ¿creen que existen algunos factores importantes para que este polímero pueda ser elaborado en el laboratorio? ¿Cuáles son éstos?

3. Seleccionen un factor que consideran decisivo para la reacción. ¿Cómo pueden verificarlo?

4. ¿Existe alguna pregunta que surja de su investigación y que pueda ponerse a prueba respecto al proceso de elaboración del polimetaacrilato de metilo? ¿Cuál es esta pregunta?

5. En estas pruebas que van a hacer: ¿Cuál es la variable que modifican (variable independiente)? ¿Cuál es la variable que observan (variable dependiente)? ¿Existen parámetros que permanezcan fijos?

6. Hagan una descripción amplia (pueden utilizar dibujos) de su diseño experimental completo. Expliquen para qué se hace cada uno de los pasos.

DESPUÉS DE LA EXPERIMENTACIÓN

7. ¿cuáles son las propiedades que evidencian (de acuerdo con su investigación) que se obtuvo el acrílico?

8. ¿Creen que efectivamente pudieron poner a prueba el factor que seleccionaron en su experimentación? ¿Por qué?

9. El factor seleccionado, ¿fue determinante en la obtención del acrílico? ¿Por qué?

10. ¿Pudieron contestar experimentalmente la o las preguntas que se formularon? ¿Cuáles fueron sus respuestas?

Anexo G

Tablas resúmenes con los resultados del cuestionario

Tabla resumen del cuestionario aplicado al grupo de trabajo (618)

(ANTES DE LA APLICACIÓN DE LOS TRABAJOS PRÁCTICOS)

Pregunta	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo	No contestó / anulada	Total
							%
1	10%	70%	5%	15%	0%	0%	100
2	0%	5%	25%	45%	25%	0%	100
3	5%	60%	20%	5%	10%	0%	100
4	45%	40%	5%	10%	0%	0%	100
5	25%	35%	35%	5%	0%	0%	100
6	25%	40%	15%	10%	10%	0%	100
7	25%	30%	20%	10%	15%	0%	100
8	35%	50%	5%	0%	5%	5%	100
9	5%	35%	40%	10%	0%	10%	100
10	20%	20%	10%	45%	5%	0%	100
11	10%	5%	30%	25%	30%	0%	100
12	40%	30%	20%	5%	0%	5%	100
13	0%	10%	40%	30%	20%	0%	100
14	5%	10%	25%	25%	25%	10%	100
15	0%	40%	40%	15%	0%	5%	100
16	0%	20%	55%	15%	10%	0%	100
17	15%	15%	30%	25%	10%	5%	100
18	0%	10%	25%	40%	20%	5%	100
19	0%	40%	20%	35%	5%	0%	100
20	0%	0%	25%	50%	25%	0%	100
21	5%	5%	55%	20%	15%	0%	100
22	15%	35%	35%	15%	0%	0%	100
23	30%	25%	15%	20%	5%	5%	100
24	40%	50%	10%	0%	0%	0%	100
25	15%	35%	10%	25%	15%	0%	100

**Tabla resumen del cuestionario aplicado al grupo de trabajo (618)
(DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LOS TRABAJOS PRÁCTICOS)**

Pregunta	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo	No contestó / anulada	Total
							%
1	25%	40%	10%	20%	5%	0%	100
2	0%	5%	25%	40%	30%	0%	100
3	25%	45%	15%	10%	5%	0%	100
4	60%	35%	5%	0%	0%	0%	100
5	25%	45%	20%	5%	0%	5%	100
6	25%	25%	25%	20%	5%	0%	100
7	50%	30%	10%	10%	0%	0%	100
8	30%	65%	5%	0%	0%	0%	100
9	10%	10%	20%	55%	5%	0%	100
10	10%	20%	25%	35%	10%	0%	100
11	25%	20%	15%	25%	15%	0%	100
12	30%	55%	0%	10%	5%	0%	100
13	5%	0%	10%	50%	35%	0%	100
14	10%	10%	15%	55%	10%	0%	100
15	0%	25%	35%	25%	15%	0%	100
16	10%	30%	35%	25%	0%	0%	100
17	15%	10%	20%	35%	20%	0%	100
18	0%	15%	15%	55%	15%	0%	100
19	5%	50%	25%	20%	0%	0%	100
20	10%	0%	5%	60%	25%	0%	100
21	0%	0%	30%	35%	30%	5%	100
22	5%	50%	35%	5%	5%	0%	100
23	15%	40%	0%	35%	10%	0%	100
24	35%	55%	10%	0%	0%	0%	100
25	10%	30%	15%	40%	5%	0%	100

El grupo consta de 20 personas. 12 hombres y 8 mujeres

Tabla resumen del cuestionario aplicado al grupo control (612)
(APLICACIÓN AL INICIO DEL CURSO)

Pregunta	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo	No contestó / anulada	Total
							%
1	0%	55%	30%	15%	0%	0%	100
2	0%	10%	35%	55%	0%	0%	100
3	15%	55%	25%	5%	0%	0%	100
4	65%	35%	0%	0%	0%	0%	100
5	35%	40%	15%	0%	0%	10%	100
6	40%	45%	10%	5%	0%	0%	100
7	20%	25%	30%	10%	15%	0%	100
8	20%	50%	30%	0%	0%	0%	100
9	0%	25%	50%	10%	0%	15%	100
10	20%	45%	20%	15%	0%	0%	100
11	15%	10%	50%	20%	5%	0%	100
12	45%	35%	5%	15%	0%	0%	100
13	5%	15%	45%	25%	10%	0%	100
14	15%	10%	45%	25%	0%	5%	100
15	0%	40%	40%	20%	0%	0%	100
16	10%	40%	30%	20%	0%	0%	100
17	5%	10%	25%	50%	10%	0%	100
18	5%	15%	25%	50%	5%	0%	100
19	10%	60%	5%	25%	0%	0%	100
20	0%	5%	30%	35%	30%	0%	100
21	5%	5%	35%	40%	10%	5%	100
22	15%	35%	45%	5%	0%	0%	100
23	20%	30%	20%	25%	5%	0%	100
24	35%	40%	20%	5%	0%	0%	100
25	25%	0%	25%	35%	15%	0%	100

Tabla resumen del cuestionario aplicado al grupo control (612)
(APLICACIÓN AL FINALIZAR EL CURSO)

Pregunta	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo	No contestó / anulada	Total
							%
1	10%	35%	40%	10%	5%	0%	100
2	0%	20%	5%	65%	10%	0%	100
3	25%	25%	45%	5%	0%	0%	100
4	30%	70%	0%	0%	0%	0%	100
5	15%	70%	15%	0%	0%	0%	100
6	25%	40%	25%	10%	0%	0%	100
7	15%	5%	30%	50%	0%	0%	100
8	20%	55%	20%	5%	0%	0%	100
9	5%	30%	60%	5%	0%	0%	100
10	25%	30%	20%	25%	0%	0%	100
11	10%	35%	35%	15%	5%	0%	100
12	35%	40%	15%	5%	5%	0%	100
13	0%	20%	35%	35%	10%	0%	100
14	5%	20%	50%	20%	5%	0%	100
15	0%	30%	60%	10%	0%	0%	100
16	5%	40%	25%	30%	0%	0%	100
17	15%	25%	30%	30%	0%	0%	100
18	0%	10%	35%	45%	5%	5%	100
19	5%	35%	15%	40%	5%	0%	100
20	0%	10%	20%	40%	30%	0%	100
21	0%	0%	55%	30%	15%	0%	100
22	5%	40%	40%	10%	5%	0%	100
23	5%	35%	40%	20%	0%	0%	100
24	25%	50%	20%	0%	5%	0%	100
25	15%	45%	25%	5%	10%	0%	100

El grupo consta de 20 personas. 7 hombres y 13 mujeres

Tabla resumen de las respuestas de los alumnos a la pregunta abierta del cuestionario

Característica	Grupo control		Grupo de trabajo	
	Antes	Después	Antes	Después
Amplios conocimientos / estudios	6	5	4	2
Dedicados / Perseverantes	5	9	3	3
Abiertos a ideas nuevas	4	2	1	1
Observadores	7	1	5	7
Analíticos	7	7	3	4
Siguen el método científico	3	1		
Serios	4	0	0	2
Inteligentes / Ingeniosos	5	8	6	5
Creativos	1	3	0	3
Responsables	2	4	0	1
Buscan la verdad	3	1		
Descubren cosas útiles	3	0	3	1
Iguals que otras personas	2	1	1	1
Decididos / Seguros	1	0	3	2
Capaces de ver más allá	2	0		
Usan lentes y bata	2	7	2	6
Son de edad avanzada	1	0		
Curiosos	3	10	8	6
Pacientes	1	5	1	1
Les gusta leer	2	3		
Interesados en la ciencia	2	3	2	1
Honestos	1	0		
No conformistas	1	0		
No les interesa el dinero	1	0		
Reservados	0	1		
Capaces de investigar	0	1	1	0
Éticos	0	1	1	0
Cuidadosos	0	1	0	4
Divertidos	0	1		
Objetivos	0	2	1	0
Ordenados	0	1	0	1
Solitarios	0	1	0	2
Experimentan	0	1	3	3

Prácticos	0	1	1	0
Reflexivos	0	1		
Explican lo que ocurre			7	3
Precisos			2	1
Apasionados por su trabajo			2	2
Cultos			2	3
Sin religión			1	1
Platicadores			0	1
Amables			0	2
Buenos maestros			0	1
Fríos			0	2
Aventureros			0	1
Sociables			0	1

NOTA: Las categorías sombreadas corresponden a aquéllas que fueron mencionadas sólo en dos ocasiones o menos.

Anexo H

Tabla auxiliar para la prueba estadística de diferencia entre dos muestras que utilizan proporciones, utilizando 90% de confianza

Reactivo	Error estándar grupo 612	Error estándar grupo 618	Error estándar entre grupos	Intervalo de confianza al 90% (grupo 612)		Intervalo de confianza al 90% (grupo 618)		Intervalo de confianza al 90% (entre grupos)	
1	0.1573	0.1392	0.1541	-37.20%	17.20%	-39.07%	9.07%	-46.65%	6.65%
2	0.1118	0.0689	0.1019	-9.33%	29.33%	-11.92%	11.92%	-2.61%	32.61%
3	0.1517	0.1479	0.1517	-46.22%	6.22%	-20.57%	30.57%	-46.22%	6.22%
4	0.0000	0.0935	0.0487	0.00%	0.00%	-6.17%	26.17%	-3.43%	13.43%
5	0.1255	0.1500	0.1299	-11.70%	31.70%	-15.94%	35.94%	-7.46%	37.46%
6	0.1332	0.1545	0.1545	-43.04%	3.04%	-41.72%	11.72%	-11.72%	41.72%
7	0.1427	0.1427	0.1265	-49.68%	-0.32%	0.32%	49.68%	-81.87%	-38.13%
8	0.1410	0.0935	0.1084	-19.38%	29.38%	-6.17%	26.17%	-38.74%	-1.26%
9	0.1440	0.1414	0.1392	-14.91%	34.91%	-44.45%	4.45%	-9.07%	39.07%
10	0.1541	0.1500	0.1512	-36.65%	16.65%	-35.94%	15.94%	-1.15%	51.15%
11	0.1475	0.1369	0.1573	-5.50%	45.50%	6.32%	53.68%	-27.20%	27.20%
12	0.1318	0.1299	0.1255	-27.79%	17.79%	-7.46%	37.46%	-31.70%	11.70%
13	0.1541	0.1374	0.1369	-16.65%	36.65%	11.25%	58.75%	-63.68%	-16.32%
14	0.1369	0.1545	0.1440	-23.68%	23.68%	-11.72%	41.72%	-64.91%	-15.09%
15	0.1500	0.1462	0.1410	-35.94%	15.94%	-40.28%	10.28%	-19.38%	29.38%
16	0.1360	0.1369	0.1410	-13.52%	33.52%	-23.68%	23.68%	-19.38%	29.38%
17	0.1356	0.1410	0.1462	1.56%	48.44%	-29.38%	19.38%	-10.28%	40.28%
18	0.1577	0.1500	0.1517	-32.27%	22.27%	-15.94%	35.94%	-46.22%	6.22%
19	0.1475	0.1414	0.1427	-5.50%	45.50%	-44.45%	4.45%	0.32%	49.68%
20	0.1479	0.1255	0.1299	-20.57%	30.57%	-11.70%	31.70%	-37.46%	7.46%
21	0.1577	0.1508	0.1541	-32.27%	22.27%	3.92%	56.08%	-46.65%	6.65%
22	0.0935	0.1043	0.1043	-6.17%	26.17%	-23.03%	13.03%	-13.03%	23.03%
23	0.1360	0.1475	0.1427	-33.52%	13.52%	-5.50%	45.50%	-49.68%	-0.32%
24	0.0689	0.0000	0.0487	-11.92%	11.92%	0.00%	0.00%	-3.43%	13.43%
25	0.1374	0.1561	0.1369	-58.75%	-11.25%	-21.99%	31.99%	-53.68%	-6.32%

NOTA: Las celdas sombreadas corresponden a los reactivos del instrumento donde sí hay evidencia de diferencia en el grupo (con respecto a la primera y la segunda aplicación del cuestionario), o bien, donde hay evidencia de diferencia entre los grupos al finalizar el semestre (última columna).

Tabla auxiliar para la prueba estadística de diferencia entre dos muestras que utilizan proporciones, utilizando 95% de confianza

Reactivo	Error estándar grupo 612	Error estándar grupo 618	Error estándar entre grupos	Intervalo de confianza al 95% (grupo 612)		Intervalo de confianza al 95% (grupo 618)		Intervalo de confianza al 95% (entre grupos)	
1	0.1573	0.1392	0.1541	-42.93%	22.93%	-44.13%	14.13%	-52.26%	12.26%
2	0.1118	0.0689	0.1019	-13.40%	33.40%	-14.43%	14.43%	-6.32%	36.32%
3	0.1517	0.1479	0.1517	-51.74%	11.74%	-25.96%	35.96%	-51.74%	11.74%
4	0.0000	0.0935	0.0487	0.00%	0.00%	-9.58%	29.58%	-5.20%	15.20%
5	0.1255	0.1500	0.1299	-16.27%	36.27%	-21.40%	41.40%	-12.19%	42.19%
6	0.1332	0.1545	0.1545	-47.88%	7.88%	-47.34%	17.34%	-17.34%	47.34%
7	0.1427	0.1427	0.1265	-54.88%	4.88%	-4.88%	54.88%	-86.47%	-33.53%
8	0.1410	0.0935	0.1084	-24.51%	34.51%	-9.58%	29.58%	-42.69%	2.69%
9	0.1440	0.1414	0.1392	-20.15%	40.15%	-49.60%	9.60%	-14.13%	44.13%
10	0.1541	0.1500	0.1512	-42.26%	22.26%	-41.40%	21.40%	-6.66%	56.66%
11	0.1475	0.1369	0.1573	-10.87%	50.87%	1.34%	58.66%	-32.93%	32.93%
12	0.1318	0.1299	0.1255	-32.59%	22.59%	-12.19%	42.19%	-36.27%	16.27%
13	0.1541	0.1374	0.1369	-22.26%	42.26%	6.25%	63.75%	-68.66%	-11.34%
14	0.1369	0.1545	0.1440	-28.66%	28.66%	-17.34%	47.34%	-70.15%	-9.85%
15	0.1500	0.1462	0.1410	-41.40%	21.40%	-45.60%	15.60%	-24.51%	34.51%
16	0.1360	0.1369	0.1410	-18.47%	38.47%	-28.66%	28.66%	-24.51%	34.51%
17	0.1356	0.1410	0.1462	-3.37%	53.37%	-34.51%	24.51%	-15.60%	45.60%
18	0.1577	0.1500	0.1517	-38.01%	28.01%	-21.40%	41.40%	-51.74%	11.74%
19	0.1475	0.1414	0.1427	-10.87%	50.87%	-49.60%	9.60%	-4.88%	54.88%
20	0.1479	0.1255	0.1299	-25.96%	35.96%	-16.27%	36.27%	-42.19%	12.19%
21	0.1577	0.1508	0.1541	-38.01%	28.01%	-1.57%	61.57%	-52.26%	12.26%
22	0.0935	0.1043	0.1043	-9.58%	29.58%	-26.83%	16.83%	-16.83%	26.83%
23	0.1360	0.1475	0.1427	-38.47%	18.47%	-10.87%	50.87%	-54.88%	4.88%
24	0.0689	0.0000	0.0487	-14.43%	14.43%	0.00%	0.00%	-5.20%	15.20%
25	0.1374	0.1561	0.1369	-63.75%	-6.25%	-27.68%	37.68%	-58.66%	-1.34%

NOTA: Las celdas sombreadas corresponden a los reactivos del instrumento donde sí hay evidencia de diferencia en el grupo (con respecto a la primera y la segunda aplicación del cuestionario), o bien, donde hay evidencia de diferencia entre los grupos al finalizar el semestre (última columna).

Bibliografía

Bibliografía

- Abd-El-Khalick, F.S., Bell, R.L. y Lederman, N.G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education* **82**: 417-436.
- AbuSharbain, E. (2002). Enhancing inservice teacher's constructivist epistemology through the development and redesign of inquiry-based investigations together with their students. *Electronic Journal of Science Education* **7(1)**: 1-10.
- Acevedo, J.A. y Acevedo, P. (2002). Creencias sobre naturaleza de la ciencia. *OEI-Revista Iberoamericana de Educación*. En <<http://www.rieoei.org/deloslectores/244Acevedo.PDF>> [última consulta: 2 de agosto de 2008].
- Adúriz, A. (2005). “Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales”. Editorial Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires, Argentina.
- Akerson, V.L. y Abd-El-Khalick, F.S. (2003). Teaching elements of nature of science: A year long case study of a fourth grade teacher. *Journal of Research in Science Teaching* **40**: 1025-1049.
- Akerson, V.L. y Hanuscin, D. (2007). Teaching nature of science through Inquiry: Results of a 3-year professional development program. *Journal of Research in Science Teaching* **44(5)**: 653-680.
- Barberá, O. y Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la Enseñanza de las Ciencias. Una revisión. *Enseñanza de las Ciencias* **14 (3)**: 365-379.
- Bell, J. (2005). “Cómo hacer tu primer trabajo de investigación”. Editorial Gedisa. Barcelona, España.
- Bell, R.L., Abd-El-Khalick, F.S., Lederman, N.G., McComas, W.F. y Matthews, M.R. (2001). The Nature of Science and Science Education: A Bibliography. *Science and Education* **10(2)**: 187-204.
- Campanario, J.M. (1999). La ciencia que no enseñamos. *Enseñanza de las Ciencias* **17 (3)**: 397-410.

- Campanario, J.M. y Otero, J.C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* **18 (2)**: 155-169.
- Christensen, H. (2004). “*Estadística paso a paso*”. Editorial Trillas, México, D.F.
- Curriculum, Evaluation and Management Centre. (1999). *Evidence based education*. Durham. En la página electrónica: <<http://www.cemcentre.org/RenderPage.asp?LinkID=30310000>> [última consulta: 2 de agosto de 2008].
- De Jong, O. (1998). Los experimentos que plantean problemas en las aulas de química: dilemas y soluciones. *Enseñanza de las Ciencias* **16 (2)**: 305-314.
- Del Carmen, L. (2000). Los trabajos prácticos. En Perales, F.J. y Cañal, P. “*Didáctica de las ciencias experimentales*”. Editorial Marfil. Alcoy, España.
- Dirección General de Planeación. (2007). “*Agenda estadística 2007*”. Universidad Nacional Autónoma de México. En la página electrónica: <<http://www.planeacion.unam.mx/agenda/2007/agenda2007.xls.html>> [última consulta: 2 de agosto de 2008].
- Domínguez, S. (2005). Inquietudes iniciales en torno a la ciencia. En el contexto universitario. *Enseñanza de las Ciencias* **número extra, VII Congreso**.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). “*Young people’s images of Science*”. Editorial Buckingham. Reino Unido.
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *International Journal of Science Education* **22(4)**: 287-312.
- Fay, M., Grove, N., Towns, M.H. y Bretz, S.L. (2007). A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory. *Chemistry Education Research and Practice* **8(2)**: 212-219.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., Cachapuz, A. y Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias* **20 (3)**: 477-488.

- Fonseca, G., Chona, G., Arteta, J., Ibañez, X., Martínez, S. y Pedraza, M. (2005). "Estudio interpretativo sobre prácticas de enseñanza de profesores de ciencias experimentales, con relación al desarrollo de competencias científicas". *Enseñanza de las Ciencias*. **Número extra, VII Congreso**.
- Fourez, G. (1997). *Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. Editorial Colihue. Buenos Aires, Argentina.
- Gabel, D. y Bunce, D. (1994). Research on Problem Solving: Chemistry. En Gabel, D. (editor) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Editorial McMillan Publishing Co. Nueva York, Estados Unidos.
- Garritz, A. (2006). Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de educación* **42**: 127-152.
- Gil, D. y Carrascosa, J. (1994). Bringing Pupil's Learning Closer to a Scientific Construction of Knowledge: A Permanent Feature in Innovations in Science Teaching. *Science Education*. **78(3)**. 301-315.
- Gil, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: Un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las ciencias* **14(2)**: 155-163.
- Gil, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez Torregrosa, J., Guisasola, J., González, E., Dumas, A., Goffard, M. y Pessoa de Carvalho, A.M. (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 (2)**: 311-320.
- Gil, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa de Carvalho, A.M., Martínez Torregrosa, J., Salinas, J., Valdés, P., González, E., Gené, A., Dumas, A., Tricárico, H. y Gallego, R. (2002). Defending Constructivism in Science Education. *Science and Education* **11**: 557-571.
- Gil, D. y Vilches, A. (2004). Contribución de la ciencia a la cultura ciudadana. *Cultura y Educación* **16(3)**: 259-272.
- Gil, D., Macedo, B., Martínez Torregrosa, J., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (2005). "¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años". Editado por OREAL-UNESCO. Santiago, Chile.

- Gil, D. y Vilches, A. (2006). Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades. *Revista Iberoamericana de educación* **42**: 31-53.
- Good, R., Cummins, C. y Lyon, G. (1999). “*Nature of Science assessment based on Benchmarks and Standards*”. Trabajo presentado en la Universidad de Lousiana. Estados Unidos.
- Hassard, J. (2000). “*Science as inquiry. Active learning, project-based, web-assisted, and active assessment strategies to enhance student learning*”. Editorial Good Year Books. Estados Unidos.
- Hodson, D. (1992). Assessment of Practical Work. Considerations in Philosophy of Science. *Science and Education* **1**: 115-144.
- Hodson, D. (2005). Teaching and learning chemistry in the laboratory: A critical look at the research. *Educación Química* **16 (1)**: 60-68.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry Education: Research and Practice* **5(3)**: 247-264.
- Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F.S., Bell, R.L. y Schwartz, R.S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners’ conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching* **39(6)**: 497-521.
- Ludwig, V. (2000). “*Inquiry-based experiments in chemistry*”. Editado por American Chemical Society y Oxford University Press. Estados Unidos.
- Manassero, M.A., Vázquez, A. y Acevedo, J.A. (2003). “*Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS)*”. En <<http://www.ets.org/testcoll/>> [última consulta: 2 de agosto de 2008].
- National Research Council. (1996). “*National Science Education Standards*”. Editorial National Academy Press. Washington, DC, Estados Unidos.
- National Research Council. (2000). “*Inquiry and the National Science Education Standards*”. Editorial National Academy Press. Washington, DC, Estados Unidos.
- Organización de Estados Iberoamericanos. “*Declaración sobre la ciencia y el uso del saber científico*”. Conferencia mundial sobre la ciencia para el siglo XXI: un nuevo compromiso. Budapest. En <<http://www.oei.es/salactsi/budapestdec.htm>> [última consulta: 2 de agosto de 2008].

- Razo, I., Juárez, P., Cárdenas, A., Segovia, M., Garcés, B., Fabián, V., Flores, J. y Lagarde, M. (2002). “*Paquete didáctico para Química IV*”. Editado por el Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. México, D.F.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen D., Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). “*Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*”. Editado por European Commission: Directorate General for Research. Bruselas, Bélgica.
- Rojano, R. y Pinelo, L. (1999). “*Química IV. Manual de actividades experimentales*”. Editado por el Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. México, D.F.
- Rutherford, F. J. y Ahlgren, A. (1989). “*Science for all Americans*”. Editorial Oxford University Press. Nueva York, Estados Unidos. En <www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm> [última consulta: 2 de agosto de 2008].
- Sofía, I., Pedrosa, M.A. y Martins, I. (2007). Formación continua de profesores para una orientación CTS de la enseñanza de la química: un estudio de caso. *Educación Química* **18(1)**: 34-37.
- Vázquez, A., Manassero, M.A., Acevedo, J.A. y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: la ciencia y la tecnología en la sociedad. *Educación Química* **18(1)**: 38-55.
- Verdú, R. (2000). “*La estructura problematizada de los temas y cursos de física y química como instrumento de mejora de su enseñanza de aprendizaje*”. Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Valencia.
- Verdú, R., Martínez Torregrosa, J. y Osuna, L. (2002). Enseñar y aprender en una estructura problematizada. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* **34**: 47-52.