



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA

“Estrategia didáctica basada en la resolución de  
problemas para el laboratorio de química del proyecto  
*Experimenta* de la UNAM. Análisis, ajuste y  
evaluación”

(Tesis mancomunada)

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO DE ALIMENTOS

PRESENTAN

CÓRDOVA PÉREZ JUANA ELENA

GÓMEZ PALACIOS MOISÉS



MÉXICO, D.F.

2009



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: Profesor: Graciela Edith Muller Carrera

VOCAL: Profesor: Eugenio León Tapia

SECRETARIO: Profesor: Ana María Sosa Reyes

1er. SUPLENTE: Profesor: Mercedes Llano Lomas

2º SUPLENTE: Profesor: Carlos Mauricio Castro Acuña

## SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Facultad de Ciencias, Ciudad Universitaria. UNAM.

ASESORA DEL TEMA: Dra. Ana María Sosa Reyes \_\_\_\_\_

SUSTENTANTES: Córdova Pérez Juana Elena \_\_\_\_\_

Gómez Palacios Moisés \_\_\_\_\_

Agradecimientos.

A la DGAPA por el respaldo otorgado mediante el proyecto PAPIME PE206305

A la Secretaría de Desarrollo institucional de la UNAM por su apoyo mediante las becas del proyecto Experimenta.

A las autoridades del CCH plantel Sur

*A Dios por darme la dicha de gozar de salud y tener una familia que me ha respaldado en todo momento por muy difícil que sea la situación.*

*A mis padres, Moisés Gómez Rojas y María Irma Palacios Caldera, por su amor, consejos y apoyo brindado desde el primer día de mi vida hasta el día de hoy que concluyo con una etapa de mi formación profesional. Mamá gracias por darme la vida, por tus desveladas y por tanto amor, éste logro también es tuyo.*

*A mis hermanos, Ricardo y Lilian, quienes son mis mejores amigos, que me han ayudado a levantarme cuando he caído y con quienes celebro mis victorias, de quienes me siento infinitamente orgulloso y en quienes puedo confiar siempre. ¡Unidos podemos derrumbar cualquier barrera!*

*A mis abuelitos Rosendo y Juana quienes me formaron los primeros 6 años de mi vida, Ustedes fueron unos padres para mí. ¡Los extraño!*

*A mis abuelitos María de Jesús y Jesús María por su amor y apoyo brindado durante mi formación.*

*A la familia Gómez Rojas por esos paseos inolvidables, esas retitas y tantas diversiones que pasamos juntos, así como tantas cosas que he aprendido de ustedes. En especial a Edson, Jair, David, Juan Carlos y Pepe.*

*A la familia Palacios Caldera por tanto apoyo y por ser fundamentales para obtener este logro.*

*A la Doctora Ana María Sosa Reyes por ser una muy buena profesora de química y una excelente amiga, por tanta paciencia, apoyo y por sus consejos, ¡Eres un ejemplo a seguir!*

*A mis amigos Alejandro, Edgar, Berenice y Félix quienes me demostraron el valor de la amistad y me conocieron desde el inicio de ésta etapa en la universidad. Gracias por tantos momentos llenos de diversión. A mis amigos de experimenta en especial a Guillermo por tanto apoyo y por hacer de la sesiones de experimenta una momento muy agradable. ¡Gracias amigos!*

*A la UNAM y en especial a la Facultad de Química recinto al que debo mi formación y siempre estaré orgulloso de mis raíces. ¡Goooya!*

*A Elena simplemente por permitirme conocer el amor y su sabor agridulce, por apoyarme incondicionalmente, por estar en todo momento a mi lado, No hay palabras suficientes para describir todo lo agradecido que estoy contigo.*

*“Puede que la vida no sea la fiesta que esperamos, pero hay que seguir bailando”*

*Moisés Gómez Palacios*

*Mi sincero agradecimiento a los que estuvieron y a los que están.*

*A mi Dios con quien hablo tantas veces a solas y me da consuelo a cada momento.*

*A mis padres, Genaro y Lourdes, por creer en mí, por su apoyo, comprensión y amor.*

*A mis hermanos Israel, Carmen y Adrián por estar conmigo en todo momento, por ser mi motivo e inspiración.*

*A mi asesora y amiga Ana María Sosa por su paciencia, dedicación y por todo el apoyo que me ha brindado.*

*A toda la familia Pérez de la que cada día disfruto más.*

*A toda la familia Córdova por seguir aquí.*

*A mis amigos por tantas risas, por tantos momentos compartidos, por estar ahí en las buenas y malas.*

*A todos los profesores que han hecho de mi la profesionalista que ahora soy.*

*Gracias a todos los profesores y compañeros de Experimenta por confiar en mi.*

*Gracias Moy por ser mi compañero y darme tu energía, por compartir conmigo esta experiencia, por ser el pilar que siempre me sostuvo.*

*Revisando mi vocabulario se me escapó una palabra que perdí un día. Esa palabra es Gracias.*

*Elena Córdova*

# ÍNDICE

## ÍNDICE GENERAL

<b>Capítulo 1</b> RESUMEN	11
<b>Capítulo 2</b> INTRODUCCIÓN	14
<b>Capítulo 3</b> ACTIVIDADES EN <i>EXPERIMENTA</i>	22
<b>Capítulo 4</b> OBJETIVOS	25
<b>Capítulo 5</b> RESULTADOS	27
<b>Capítulo 6</b> REPRODUCCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS POR LOS ALUMNOS CON MAYOR FRECUENCIA	45
<b>Capítulo 7</b> IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ERROR EN LA EXPERIMENTACIÓN	66
<b>Capítulo 8</b> ADECUACIONES PROPUESTAS AL FORMATO ORIGINAL	70
<b>Capítulo 9</b> PRIMERAS PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	81
<b>Capítulo 10</b> CONCLUSIONES	87
<b>Capítulo 11</b> BIBLIOGRAFÍA	91
<b>Capítulo 12</b> ANEXOS	94

## ÍNDICE DESGLOSADO

<b>1. RESUMEN</b>	11
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	14
2.1. Problemática sobre cómo se enseñan las ciencias y las sugerencias de la investigación educativa	15
2.1.1. La ciencia escolar fragmentada	16
2.1.2. El profesor como centro de la enseñanza	16
2.1.3. La imagen de la ciencia inalcanzable	17
2.2. Actividades experimentales en el aprendizaje de las ciencias	17
2.3. Etapas de una actividad experimental	18
2.3.1. La activación	18
2.3.2. El mantenimiento	19
2.3.3. La dirección	19
2.4. La enseñanza mediante problemas	20
<b>3. ACTIVIDADES EN <i>EXPERIMENTA</i></b>	22
<b>4. OBJETIVOS</b>	25
<b>5. RESULTADOS</b>	27
5.1. Análisis de la estrategia empleada en el laboratorio de química	28
5.1.1. Primer período. Arranque de la fase piloto del proyecto.	29
5.1.1.1. Introducción	29
5.1.1.2. Demostración de la reacción	30
5.1.1.3. Planteamiento de preguntas y problemas	31
5.1.1.4. Trabajo experimental	32
5.1.1.5. Cierre de la sesión	33
5.1.1.6. Problemas identificados	34

5.1.2. Segundo período. Modificaciones a la propuesta original y resultados	35
5.1.3. Aciertos	40
5.1.4. Sobre la oportunidad de la reacción empleada	42
5.1.5. Anotaciones sobre las poblaciones asistentes	42
5.1.6. Fuentes de error	43
5.1.6.1. Tamaño De los grupos.	43
5.1.6.2. Administración del tiempo.	44
<b>6. REPRODUCCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS REALIZADOS</b>	<b>45</b>
<b>POR LOS ALUMNOS CON MAYOR FRECUENCIA.</b>	
6.1. Efecto de la variación de la cantidad y concentración de los reactivos en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción. Gráficas comparativas.	46
6.1.1. Luminol	48
6.1.2. Sulfato de Cobre	52
6.1.3. Peróxido de Hidrógeno	55
6.2. Efecto de la variación de la temperatura en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción	59
6.3. Efecto de la variación del volumen total en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción, manteniendo constante la proporción de los tres reactivos.	61
6.4. Efecto de la variación del orden de adición de los reactivos en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción	62
6.5. Cambio de color de la luz emitida por la reacción quimiluminiscente.	63

<b>7. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ERROR</b>	66
<b>EN LA EXPERIMENTACIÓN.</b>	
<b>8. ADECUACIONES PROPUESTAS AL FORMATO ORIGINAL.</b>	70
8.1. Resultado de la aplicación de las adecuaciones.	71
8.2 Aplicación de la tabla en el diseño del experimento.	75
8.3 Aportaciones del trabajo de tesis para cada etapa de la sesión.	78
<b>9. PRIMERAS PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.</b>	81
9.1 Evaluación de actividades experimentales	82
<b>10. CONCLUSIONES.</b>	87
<b>11. BIBLIOGRAFIA</b>	91
<b>12. ANEXOS</b>	94
12.1. Anexo 1. Alcance de <i>Experimenta</i> . Información acerca de las poblaciones en <i>Experimenta</i> .	95
12.2. Anexo 2. Preparación de las disoluciones.	97
12.3. Anexo 3. Manejo de variables y comprensión de gráficas.	98
12.4. Anexo 4. Definición de fluorescencia, fosforescencia y quimiluminiscencia.	101
12.5. Anexo 5. Historia del Luminol.	103

# RESUMEN

## 1. RESUMEN

El propósito de este trabajo es realizar el análisis de la estrategia didáctica empleada en el laboratorio de química del proyecto *Experimenta* para proponer modificaciones y herramientas que faciliten y optimicen el trabajo experimental que realizan los estudiantes de bachillerato que asisten a este innovador proyecto de ciencias.

El proyecto *Experimenta* tiene su origen en los laboratorios Belmonte de la Universidad Hebrea de Jerusalén, creados a finales de la década de los ochenta para estudiantes de nivel bachillerato por el fisiólogo Itzchak Parnas. A dieciséis años de su creación, los laboratorios Belmonte han tenido gran éxito en Israel y a partir de esto, países como Alemania, Francia, Canadá, Bélgica y Estados Unidos entre otros, han creado iniciativas semejantes.

Teniendo como marco la tendencia de la enseñanza de las ciencias hacia la alfabetización científica de los individuos, en México el proyecto *Experimenta* inició en el año 2004, gracias al interés de la Secretaría de Desarrollo Institucional, las Facultades de Ciencias, Química e Ingeniería; los Institutos de Fisiología Celular y Matemáticas Aplicadas a Sistemas y el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la UNAM.

*Experimenta* es un proyecto multidisciplinario de la UNAM, que tiene como propósito inculcar el pensamiento científico y favorecer un mayor interés por las ciencias en los estudiantes del bachillerato, independientemente de su vocación. Con esta propuesta se espera contribuir a que los estudiantes sean capaces de evaluar la información científica que reciben basándose en las fuentes y los métodos de la ciencia. Además que sean capaces de dar y evaluar argumentos apoyándose en evidencias y obtener conclusiones de forma acertada.

La mecánica del proyecto consiste en que los alumnos de bachillerato durante una semana, desarrollan diversas propuestas de investigación teniendo en común un tema en específico, asistiendo a sesiones de cuatro horas en laboratorios de Biología, Física, Química, Matemáticas y Tecnología.

En cada uno de los laboratorios se presentan a los estudiantes, fenómenos atractivos y se les anima a plantear hipótesis sobre las diferentes variables observadas. Estas hipótesis en forma de preguntas, son probadas por procedimientos experimentales que ellos diseñan y modifican hasta encontrar una respuesta convincente. Además, en una discusión conjunta, cuestionan, comparan y argumentan científicamente sus resultados y los de sus compañeros.

# INTRODUCCIÓN

## 2. INTRODUCCIÓN

La preocupación por reorientar los objetivos de la enseñanza de la ciencia en el bachillerato hacia una alfabetización científica, es tema común en muchos de los artículos publicados recientemente en esta área. La idea surge como respuesta al rechazo que la mayoría de los alumnos muestra hacia los estudios científicos y al fracaso escolar que frecuentemente experimentan en materias de esta índole.

Para alcanzar dicho objetivo se ha propuesto desarrollar en las clases, una perspectiva de la ciencia y la tecnología que incluya: la historia de las ideas científicas, la naturaleza de la ciencia y la tecnología, así como el papel de ambas en la vida personal y social.

La investigación didáctica ha puesto de manifiesto que el tener en cuenta los contenidos ciencia-tecnología-sociedad en clase, aumenta el interés de los estudiantes hacia la ciencia y mejora su actitud hacia su estudio. Esto es importante, ya que mientras no se asocie la investigación científica con el entorno en el que se desarrolla el estudiante, la ciencia le seguirá pareciendo algo abstracto imposible de aplicar para satisfacer una necesidad, lo que favorece que prefiera mantenerse lo más alejado posible de ella, pues no ve un verdadero motivo para acercarse.

Por otra parte, tomando en cuenta que el ciudadano común no tiene que aplicar conocimientos científicos o tecnológicos complejos, parece conveniente que la educación básica propicie la comprensión de lo esencial de la actividad científica. Así, el futuro ciudadano podrá desarrollar las competencias, habilidades y actitudes que le permitan al menos tener conocimientos básicos de su cuerpo y del medio en el que vive.

### 2.1 Problemática sobre cómo se enseñan las ciencias y las sugerencias de la investigación educativa.

Mediante la investigación en didáctica se han identificado tres problemas en la enseñanza de la ciencia que obstaculizan el desarrollo del estudiante en el campo

científico: la fragmentación de la ciencia escolar, la enseñanza centrada en el maestro y una imagen de la ciencia como algo inalcanzable.

#### 2.1.1 La ciencia escolar fragmentada.

En los niveles medio superior y superior persiste la distinción típica entre teoría, prácticas de laboratorio y problemas, de hecho en algunos casos, las tres actividades son impartidas por diferentes profesores y la investigación e innovación en didáctica de las ciencias las ha estudiado como líneas de trabajo prácticamente autónomas. Los resultados de investigaciones dentro del campo y, en general, todo el desarrollo de la didáctica de las ciencias, llevan a un convencimiento de que dicha separación no está justificada y que es importante conjuntar las tres actividades de forma que se complementen, pues antes de realizar un experimento se debe contar con bases teóricas para poder analizar los resultados y discutirlos obteniendo la solución a un problema específico. Esto es fundamental y constituye una herramienta valiosa en el aprendizaje del alumno.

#### 2.1.2 El profesor como centro de la enseñanza.

Los profesores se encuentran ante una crisis de identidad. Ellos que en el pasado tenían la exclusividad del saber, hoy la han perdido o están perdiendo debido a la disposición de una mayor cantidad y más completa información presente en una gran diversidad de fuentes como son libros, videos, museos, computadoras e Internet, las cuales el alumno consulta con la finalidad de satisfacer una necesidad de resolver una duda o adquirir un conocimiento a un ritmo adecuado para él. La investigación ha demostrado que la enseñanza centrada en el maestro resulta limitada pues no distinguen características individuales del alumno y no aprovecha su potencial mental transmitiéndose el conocimiento en una sola dirección: de profesor a estudiante, donde no hay lugar para la retroalimentación. Para solucionar este problema es de gran importancia que el profesor imparta clases que favorezcan la flexibilidad mental del alumnado, que se busque el desarrollo intelectual en todo momento y se fomente el intercambio de puntos de vista. Para propiciar un ambiente de intercambio de información, el profesor debe estar conciente de que la opinión del alumno es valida aunque puede ser errónea y que él puede equivocarse, después de todo es un ser humano.

Con la finalidad de volver una clase enriquecedora para todos, el profesor debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- No a todos los alumnos les interesa lo mismo.
- El grado de madurez varía de persona a persona.
- No todos los alumnos cuentan con la misma creatividad o espíritu innovador.

La clave para que el profesor identifique estos puntos es lograr crear un ambiente de comunicación en el salón de clases.

### 2.1.3 La imagen de la ciencia inalcanzable.

Otra problemática importante que se presenta en las clases del área científica, es la imagen que los alumnos tienen sobre la ciencia. Generalmente el alumno, encuentra los temas científicos como algo abstracto y formal, con tratamientos operativos no significativos, difícilmente aplicables a su vida cotidiana. Esta concepción de los estudiantes hacia la ciencia propicia la división de un selecto grupo minoritario, los que sí la dominan del resto de la clase, volviéndola elitista.

Cuando en un grupo de clases existe una división, entre los alumnos que entienden la clase de ciencias y los que no, generalmente estos últimos se desaniman y ven a la ciencia como algo que ellos nunca lograrán entender, como algo para lo que ellos “no nacieron”. Aquí es donde el profesor debe tratar de atraer su atención, debe mantener permanentemente un diálogo y una comunicación con sus alumnos, que contribuya no sólo a que los conozca mejor, sino a obtener la información que requieren para hacer del salón de clases y del laboratorio un lugar de desenvolvimiento pleno para todos.

## 2.2 Actividades experimentales en el aprendizaje de las ciencias

El educador es el responsable de la instrucción y, para enfrentarse con éxito a esta tarea, debe, no sólo tener un dominio de la teoría y práctica de su disciplina, sino también conocer muy bien las estrategias que ayudan al alumno a explorar alternativas y resolver problemas.

Las evidencias indican que, incluir actividades experimentales, no siempre implica mejores resultados en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Lo anterior coincide con que el trabajo de laboratorio que en general realizan los estudiantes de bachillerato, se basa en el seguimiento de protocolos establecidos en los que el alumno obedece instrucciones a modo de receta. Esta forma de trabajo no

coincide de modo alguno con los procedimientos empleados por los científicos en la resolución de problemas.

Así, se reconoce que es conveniente combinar dos estrategias en las clases de ciencias: la que permite aclarar ciertos conceptos o leyes generales con base en experimentos “tradicionales” y la que busca que el alumno construya sus conocimientos a partir de contrastar sus ideas con los resultados de experimentos sencillos.

Con la finalidad de que los alumnos construyan sus conocimientos es importante proponer actividades experimentales tomando en cuenta, como dice Giere (1999), que el razonamiento científico es un proceso de elección entre las teorías que se proponen y que compiten, con el fin de optar por la que, en un momento histórico determinado, presenta la explicación más convincente para un fenómeno particular del mundo.

En dicho proceso de elección se debe llevar a cabo una evaluación de las teorías científicas donde son más importantes el conjunto de argumentos y las interrelaciones que se elaboran para construir un razonamiento.

### 2.3 Etapas de una actividad experimental

Dentro de la enseñanza de las ciencias es de particular importancia la exploración de alternativas de instrucción, especialmente la experimental, para hacer que esta sea flexible y dinámica. Tres aspectos deben considerarse: la activación, el mantenimiento y la dirección.

#### 2.3.1. La activación

El primer paso para un aprendizaje significativo es lograr que el alumno esté motivado; es decir que tenga un interés intrínseco en los contenidos, experiencias prácticas o discusiones que se den en el seno del laboratorio. La motivación depende en gran medida de la activación que el educador logre despertar en sus alumnos por los temas estudiados. Para ello debe buscarse la manera de activar a los estudiantes planteando bien lo que se va a realizar en un momento dado,

escoger cuidadosamente experimentos, problemas o preguntas imaginativas o situaciones que ofrezcan expectativas de algo interesante.

Lo contrario a la activación es seguir siempre una rutina aburrida de aprendizaje con un mismo manual de prácticas, idénticas preguntas en los exámenes previos o post-laboratorio y tareas similares de un curso a otro. “Los alumnos ya conocen cuáles profesores tienden a caer en este esquema rígido de enseñanza, suelen comunicarse de una generación a otra las costumbres del profesor y están poco motivados para permanecer en esas lecciones”. (Obaya, Noé y Delgadillo, 2001)

Por todo lo anterior se infiere que una condición esencial de un buen profesor es su capacidad imaginativa, su originalidad en el planteamiento de actividades, formas de interrogar que partan del conocimiento previo del estudiante, integración de la información nueva con la ya conocida y en especial su habilidad para cambiar de estrategia cuando percibe que sus estudiantes se empiezan a cansar o aburrir.

### 2.3.2. El mantenimiento

No basta con activar al alumno al inicio de una sesión de laboratorio; debe naturalmente, mantenerse el interés, curiosidad y su inquietud por aprender a lo largo de toda la sesión de estudio. Para esto se debe propiciar un clima agradable en el laboratorio, de modo que la satisfacción por la exploración de un tema sea mayor que los riesgos que implica.

El papel del profesor es cooperar con el alumno, para que este pueda descubrir las dificultades, analizar posibles causas de error y evaluar consecuencias de sus acciones, sin sentirse culpable o ignorante.

### 2.3.3. La dirección

Para dar una adecuada dirección a un aprendizaje, el profesor debe estar familiarizado con la teoría subyacente y poder relacionarla con situaciones prácticas. Por otra parte, debe constantemente tener presente el grado de evolución cognoscitiva de sus distintos alumnos, ya que “el estudiante más maduro requiere un tipo de orientación diferente al que se encuentra en los niveles iniciales de la comprensión de un tema”. (Obaya-Valdivia, 2005). “Se

sugiere crear un ambiente de reflexión en el laboratorio que contrarreste la tendencia usual del profesor a utilizar un recetario de prácticas y del alumno a repetir la receta del profesor”. (Gallet, 1998)

#### 2.4 La enseñanza mediante problemas

Al tratar y enfrentarse con problemas reales en el laboratorio, mediante proyectos de investigación como principio didáctico, los estudiantes trabajan en equipos proponiendo de forma continua la búsqueda de nuevas aportaciones de solución a un problema, con un debate de la hipótesis propuesta en un diseño experimental propuesto por ellos mismos. En definitiva, “se trata de no privar el producto del proceso sino el proceso mismo, pues interesa más la dinamización de las ideas referidas a la temática del problema que el llegar a una determinada solución”. (Bennett, 1991; Rugarcía, 2000; Bennett y Kennedy, 2001)

El trabajo con problemas es un proceso complejo que comprende distintos momentos:

- La exploración de nuestro entorno
- El reconocimiento de una situación como problema.
- La formulación más precisa del mismo mediante objetivos.
- La puesta en marcha de un conjunto de actividades para su resolución.
- La frecuente reestructuración de las concepciones implicadas.
- La posible consecución de una o varias respuestas al problema.

Consideramos que el término “investigar” es el más apropiado para designar al conjunto de estos procesos. La enseñanza experimental de la Química debe procurar el descubrimiento y la solución de problemas. Para ello debe basarse en la investigación. La investigación en el laboratorio define tanto una metodología de trabajo como un marco teórico (modelo didáctico) que integra las aportaciones del constructivismo, trabajo en equipo y aprendizaje cooperativo. El tratamiento de problemas, en la enseñanza experimental de la Química, propicia el aprendizaje significativo en la medida en que:

- Facilita que expliciten y pongan a prueba las concepciones del alumno implicadas en la situación problema.
- Fuerza la interacción de esas concepciones con otras informaciones procedentes de su entorno físico y social.

- Posibilita el que en esa interacción, se reestructuren las concepciones del alumno.
- Favorece la reflexión sobre el propio aprendizaje y la evaluación de las estrategias utilizadas y de los resultados obtenidos.
- En el laboratorio de Química permite una integración de profesores y alumnos en la solución de problemas prácticos de carácter interdisciplinario mediante el trabajo en equipo y el aprendizaje cooperativo.

“En la enseñanza experimental de la Química, la investigación en el laboratorio como principio didáctico, motiva al estudiante para el trabajo en equipo de carácter interdisciplinario y mejora su rendimiento académico”. (Obaya-Valdivia, 2005)

# ACTIVIDADES EN EXPERIMENTA

### 3. ACTIVIDADES EN *EXPERIMENTA*

En el proyecto *Experimenta* los estudiantes del tercer o cuarto semestre del CCH de la UNAM asisten durante una semana, en sesiones de cuatro horas. Sin importar el orden, visitan los laboratorios de química, física, biología, matemáticas y tecnología. Cada sesión es dirigida por un profesor titular especialista en la materia, quien es asistido por estudiantes pasantes o prestadores de servicio social de alguna carrera científica.

Las estrategias didácticas empleadas en “*Experimenta*” pretenden promover en los estudiantes de bachillerato habilidades metacognitivas al:

- formular un cuestionamiento
- generar hipótesis
- diseñar un procedimiento experimental
- realizar y adecuar sobre la marcha dicho procedimiento
- reunir y analizar datos
- argumentar los resultados obtenidos
- trabajar en grupo de forma cooperativa

Actividades que demandan mucho más al alumno que las tradicionales prácticas de laboratorio en donde generalmente los alumnos siguen una serie de instrucciones para llegar a una conclusión predeterminada.

Consideramos que esta estrategia, que puede clasificarse como investigación dirigida, también contribuye a que los alumnos adquieran una imagen menos deformada sobre la naturaleza de la ciencia.

Aunque cada laboratorio mantiene un estilo propio la idea es que la experiencia sea acumulativa de tal modo que conforme avanzan los estudiantes en su visita, sus experimentos sean más complejos y mejor abordados.

Todos los laboratorios en *Experimenta* tienen como hilo conductor el tema de ondas; en biología se abordan problemas sobre la visión, específicamente de las moscas *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta). Para ello los estudiantes tienen acceso a moscas con mutaciones visuales por lo que se pueden abordar investigaciones interesantes como el efecto que la afección de algún gen puede tener sobre la forma en que ven estos organismos. En el taller de física, los alumnos resuelven problemas sobre la propagación y la composición de ondas sonoras que ellos generan mediante cuerdas, instrumentos musicales o su propia voz. Por su parte, en química los estudiantes desarrollan sus investigaciones sobre una reacción quimiluminiscente. Mientras que en el taller de tecnología, los estudiantes estudian ondas electromagnéticas, específicamente las solares. Ahí los alumnos diseñan y construyen calentadores que aprovechan la energía solar y que se ponen a prueba calentando agua e incluso algunos alimentos.

Finalmente, el taller de matemáticas que por las particularidades de la materia aún se encuentra en fase de diseño y puesta en marcha, tiene como propósito que mediante el uso de papel y lápiz combinados con programas interactivos diseñados y realizados en *Experimenta*, los estudiantes analicen la generación y la propagación de ondas.

# OBJETIVOS

#### 4. OBJETIVOS.

Los objetivos de este trabajo son:

- Analizar las características de la estrategia didáctica que se aplica actualmente en el laboratorio de química del proyecto *Experimenta* de la UNAM.
- Reproducir el trabajo experimental que los alumnos realizan con la finalidad de detectar fuentes de error que los dirijan a resultados incorrectos.
- A partir del análisis realizado proponer y probar las adecuaciones que se consideren pertinentes.
- Elaborar algunas herramientas para facilitar el trabajo experimental.

# RESULTADOS

## 5. RESULTADOS.

### 5.1 Análisis de la estrategia empleada en el laboratorio de química

Las actividades que los estudiantes realizan en su visita al laboratorio de química de *Experimenta* se centran en la reacción quimiluminiscente de oxidación de luminol con agua oxigenada, usando como catalizador sulfato de cobre.

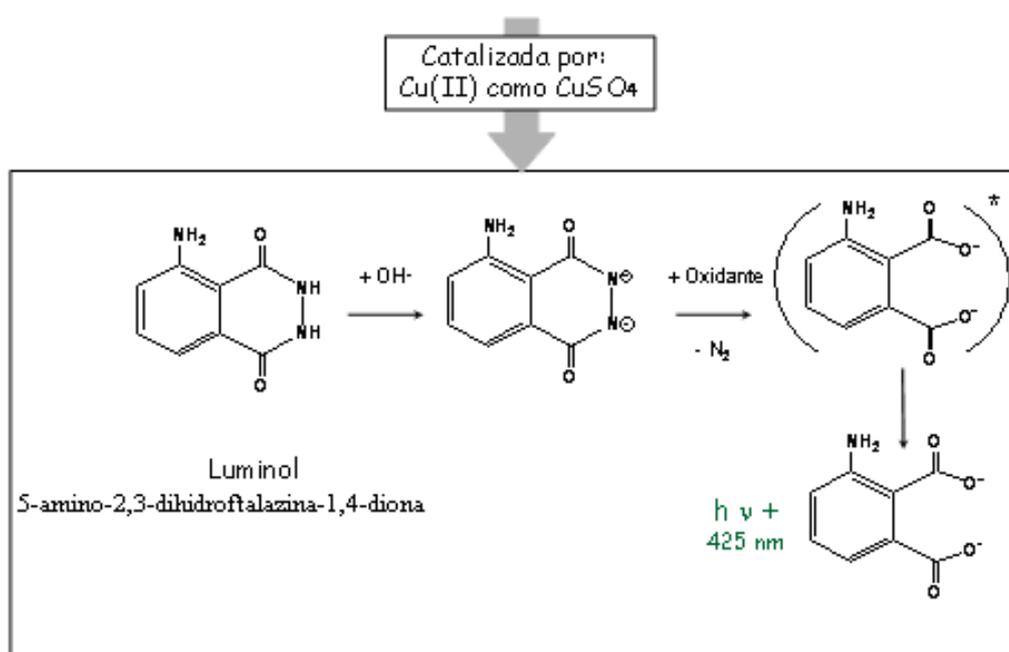


Figura 1. Reacción de oxidación de luminol con  $\text{H}_2\text{O}_2$  usando  $\text{CuSO}_4$  como catalizador. La preparación de las disoluciones se presenta en el anexo 1.

Al mezclar primero la disolución de luminol con la de sulfato de cobre, ambas incoloras, se obtiene una disolución de color azul intenso. Posteriormente, con las luces apagadas, al añadir la disolución de agua oxigenada, se observa la emisión de luz azul que se extingue en aproximadamente un minuto. Una vez que se ilumina el lugar, puede observarse que la disolución resultante tiene un color verdoso así como el desprendimiento de un gas.

A partir de las observaciones de este fenómeno los estudiantes plantean preguntas, hipótesis y diseñan sus propios experimentos.

En todo momento las sesiones en el laboratorio de química han incluido tres partes básicas: inicio, desarrollo y cierre. Sin embargo la historia sobre la evolución de la estrategia empleada, puede dividirse en dos períodos.

El siguiente análisis se refiere primero al período comprendido desde la puesta en marcha del proyecto hasta que, tomando en cuenta los primeros resultados de esta investigación, la estrategia se modificara sustancialmente. La segunda parte corresponde al estado actual de la propuesta.

#### 5.1.1 Primer período. Arranque de la fase piloto del proyecto. Inicio de la sesión

##### 5.1.1.1 Introducción

Bajo el formato que se empleó en el primer período del proyecto la sesión comienza con una introducción a la química teniendo como tema principal la luz. Mediante una presentación de power point se explican los tipos de luz que hay y sus fuentes, entre los que se destacan la luz emitida por una reacción quimiluminiscente. También, se explica a los alumnos lo que ocurre a nivel atómico durante una reacción de este tipo. Así mismo se abordan aspectos de la vida cotidiana para hacerlo más atractivo a los alumnos, mediante el uso de ejemplos como luciérnagas, objetos fluorescentes, objetos fosforescentes, etc.

Entre los temas cotidianos que se emplean, desde entonces, para ampliar el panorama está la “prueba del luminol” (anexo 5) que se usa en medicina forense. Esta prueba consiste en rociar luminol donde se cree que hay pequeñas manchas de sangre, las cuales no son detectables a simple vista, después se rocía agua oxigenada y las zonas donde hay emisión de luz indican la presencia de sangre. Esto es muy atractivo para los alumnos y los invita a experimentos innovadores, como el investigar las sustancias que pueden ser identificadas mediante la prueba del luminol (Anexo 5).

### 5.1.1.2 Demostración de la reacción

Con el propósito de que los alumnos observen las características de los reactivos empleados en la reacción se procede a servirlos en probetas: 10 mL de luminol, 10 mL de sulfato de cobre y 20 mL de agua oxigenada.

Posteriormente se realiza la demostración de la reacción mezclando primero la disolución de luminol con la de sulfato de cobre, ambas tan diluidas que se observan incoloras. Al hacerlo, se observa un cambio de color a un azul intenso sin emisión de luz.

Posteriormente se apagan las luces para agregar finalmente el agua oxigenada obteniendo como resultado la emisión de luz azul, muy atractiva.

Finalmente en este formato se presenta a todo el grupo el aparato con el que se puede medir la intensidad de la emisión. Para este fin se emplea un proyector de acetatos y una pantalla en la que se conecta el equipo para proyectar en la pared las imágenes del analizador de datos CASIO (ADC) y se les enseña a utilizarlo.

Desde el inicio de actividades del laboratorio de química se ha observado que la fase inicial de la sesión (introducción y presentación de la reacción) no debe

Identificación de ideas alternativas.

En este punto resulta conveniente mencionar algunas ideas alternativas que se identifican al comentar con los estudiantes sobre sus observaciones.

Al cuestionarles sobre los cambios observados la mayoría responde acertadamente indicando que se ha llevado a cabo una reacción química. Sin embargo al profundizar hacia los detalles, la mayoría adjudica la formación del gas que se desprende al agua oxigenada, argumentando que *“es la única sustancia que contiene un gas: el oxígeno”*. Mientras que el cambio del color lo asocian con la sal de cobre *“que es la única de color azul”*.

Al respecto puede señalarse que:

- Los estudiantes tratan de reconocer las propiedades de los reactivos en los productos como si los primeros siguieran ahí, sólo que mezclados.
- Los alumnos no distinguen fácilmente un compuesto de una mezcla: *“el agua oxigenada es agua pero con un exceso de oxígeno....gaseoso”*.

Es así que en la discusión se aclara que en una reacción química, como la que observan, los reactivos involucrados cambian sus propiedades y que después de ésta desaparecen los compuestos originales para dar paso a nuevas sustancias con propiedades diferentes. Por otro lado se les explica que en una mezcla las sustancias participantes no cambian sus propiedades siendo las mismas en todo momento.

prolongarse más de una hora ya que esto cansa y distrae a los estudiantes lo que puede entorpecer la etapa de planteamiento de preguntas.

#### 5.1.1.3 Planteamiento de preguntas y problemas

En general la emisión de luz anima a los alumnos pues les sorprende que de tres líquidos prácticamente incoloros, que pueden confundirse fácilmente con agua, salga luz de color azul. Sin embargo, generalmente les disgusta el tiempo tan breve de la emisión. Cabe señalar que desde este primer período, el problema de la duración de la reacción ha servido como detonante para que los alumnos propongan actividades, pues frecuentemente se plantean el reto de hacer una reacción más duradera.

Sin embargo, el problema que se detectó en este punto fue que al mostrar el medidor de luz se influye en la decisión de los alumnos pues la mayoría se centran en la luz y por lo tanto sólo elaboran preguntas referentes al tiempo de duración o a la intensidad de la emisión. Sólo algunos innovan proponiendo preguntas referentes al color de la luz o a la identidad del gas, por ejemplo.

Las preguntas obtenidas más frecuentemente cuando se utiliza este formato son las siguientes:

- ¿Cómo puedo hacer la luz más intensa?
- ¿Cómo puedo hacer para que la luz emitida dure más?
- ¿Cómo puedo cambiar el color de la luz emitida?

Una vez formados los equipos de tres o cuatro personas y establecida la pregunta, se les pide que antes de iniciar el trabajo experimental, realicen un diseño o plan de trabajo para las actividades experimentales que a su juicio, necesitan realizar para contestar la pregunta o resolver el problema que han planteado. En esta etapa también se detectó un problema: los alumnos, aunque provienen de uno de los sistemas educativos más modernos que se aplican en México, CCH de la UNAM, están acostumbrados a recibir indicaciones precisas y no a proponer, así pueden perder mucho del tiempo destinado para esta actividad por lo que es necesario presionar al equipo y aclararles las dudas que se presentan, para que inicien las actividades en el laboratorio.

#### 5.1.1.4 Trabajo experimental

Una vez que se han aclarado las preguntas y se han planteado las hipótesis inicia el trabajo experimental. En esta etapa se da libertad a los alumnos para que trabajen por su cuenta y se hacen revisiones periódicas para garantizar que obtengan información útil y confiable de sus experimentos, además para facilitar el material que ellos consideren necesario. Esta parte de la sesión tiene destinado un mayor tiempo, de 1.5 a 2 horas, después de todo la idea del proyecto es acercar a los alumnos al quehacer científico.

En esta fase del trabajo experimental, se presentan algunas situaciones interesantes; en ocasiones por ejemplo, durante su experimentación los estudiantes descubren características del sistema que les resultan más interesantes que su pregunta original, (situación que frecuentemente se presenta también en el trabajo científico formal) por lo que a veces se permite que den un giro a su investigación. También sucede que en ocasiones, se interesan más por las preguntas de sus compañeros como frecuentemente sucede con el cambio de color de la luz.

Con este formato también se observa que las preguntas que generan frecuentemente se guían por el equipo y material que se les presenta, tal es el caso del Analizador de Datos Casio (ADC) el cuál llama la atención de los alumnos quienes ajustan su pregunta con la finalidad de usarlo, por lo que en sus mediciones siempre está involucrada la intensidad de la luz emitida por la reacción, limitando así su creatividad.

Desde que iniciaron las actividades en el laboratorio de química se han identificado algunos problemas típicos en la recolección de datos que hacen los estudiantes por ejemplo, la mayoría no considera necesario recabar más de un dato además de la referencia para la variable que se está estudiando. Así, es necesario hacerles ver que para obtener resultados más claros, confiables y detectar aquellos valores que pueden ser erróneos es necesario obtener una serie

de valores para cada variable. También destaca que en general les resulta complicado identificar las variables dependientes e independientes así como los parámetros que se deben mantener constantes. Lo anterior muchas veces los lleva a cometer errores y obtener resultados confusos, es aquí en donde la intervención del profesor titular y los asesores es muy importante para poder guiarlos y resolver todas las dudas que existan. Resueltos todos estos problemas y después de haber contestado todas las dudas los alumnos terminan satisfactoriamente el trabajo experimental.

#### 5.1.1.5 Cierre de la sesión

Una vez concluido el trabajo experimental, se procede a la presentación de los resultados de cada investigación al resto del grupo, para ello se proporcionan a los alumnos acetatos y se les pide que escriban la pregunta, sus hipótesis, y resultados además de alguna gráfica o tabla que respalde lo obtenido en la experimentación. Posteriormente cada equipo expone la información de su acetato al resto del grupo y se lleva a cabo una discusión conjunta en la que se cuestionan, comparan o apoyan los resultados tratando de destacar los errores y los aciertos en cada investigación.

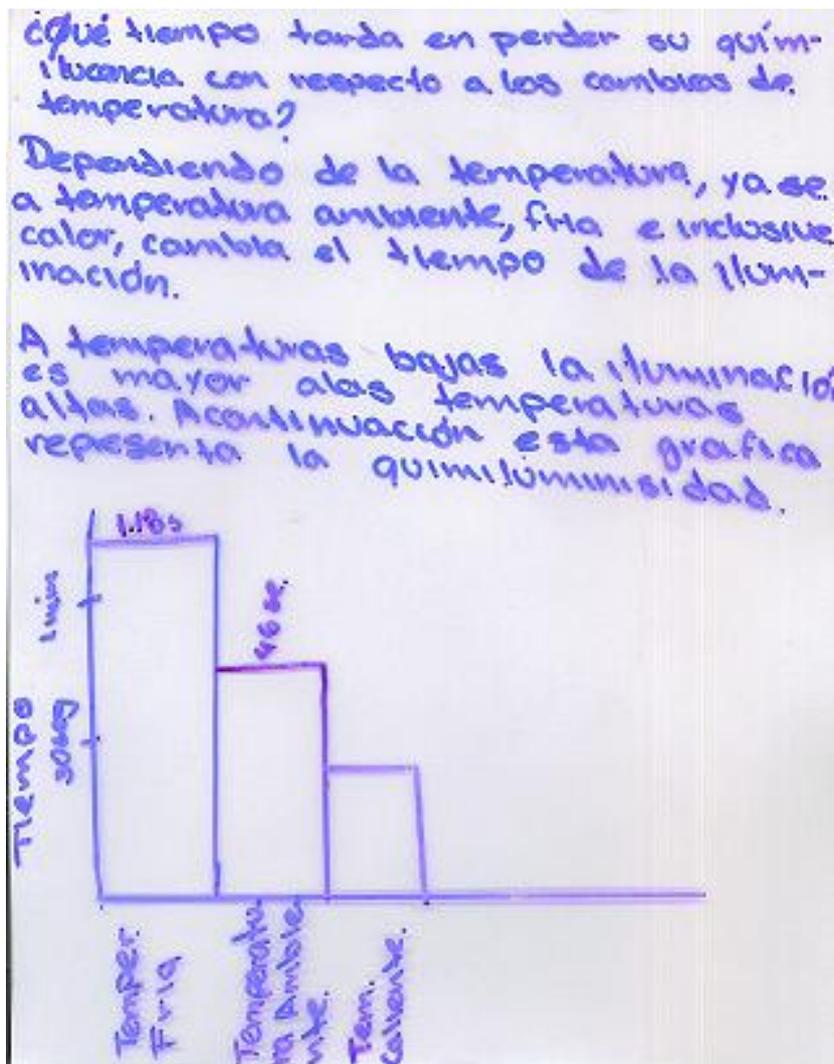


Figura 2. Acetato realizado por alumnos en la primera etapa del proyecto.

En esta etapa pueden apreciarse aún más evidentes los problemas que tienen los alumnos con el manejo de variables y su representación en una gráfica, por ejemplo en el acetato de la figura 2 se observa que al construir la gráfica de tiempo de duración de la reacción vs. Temperatura, los estudiantes no saben cuándo usar una gráfica de barras y cuándo una de puntos. Ellos no lo ven como algo importante después de todo observan una tendencia, el aprieto surge cuando intentan interpolar un dato en dicha gráfica.

#### 5.1.1.6 Problemas identificados

El análisis que se realizó en este trabajo durante esta primera etapa del proyecto permitió identificar los siguientes problemas:

1. Una introducción demasiado extensa que aborda temas irrelevantes para el trabajo experimental que finalmente realizan los alumnos genera cansancio e indisposición entre los estudiantes.
2. La presentación del equipo de medición de luz sesga las preguntas formuladas por los alumnos.
3. Los alumnos generalmente no reconocen la motivación que hay detrás de un experimento ni su utilidad, por lo que les resulta complicado diseñar los procedimientos que necesitan realizar.
4. Aunque finalmente realicen procedimientos científicos los alumnos no los identifican claramente si no se les señalan.
5. Los estudiantes no identifican las variables que están modificando ni los parámetros que permanecen constantes lo cual lleva a que obtengan información poco útil de sus experimentos.
6. La variedad de preguntas planteadas es limitada.
7. Generalmente creen que las preguntas que se plantean implican trabajar solo con una hipótesis, lo que limita los posibles resultados y no llegan a conocer más acerca de la reacción.

Con la finalidad de mejorar la estructura de la sesión, se implementaron reuniones con el grupo de trabajo del laboratorio de química. Ahí se discutieron los problemas detectados, los errores experimentales más frecuentes, los aciertos de la propuesta y sus objetivos, así como las modificaciones necesarias para mejorarla. En estas reuniones se cuestionó también acerca de lo que realmente es importante que los alumnos se lleven, hasta dónde manejar el lenguaje científico e incluso sobre el verdadero objetivo del proyecto *Experimenta*, lo que llevó a realizar modificaciones a la forma de impartir la sesión en aquellas áreas que causaban problema. Así, se hicieron varias modificaciones lo que nos lleva a una nueva etapa del taller de química dentro del proyecto *Experimenta*.

#### 5.1.2 Segundo período. Modificaciones a la propuesta original y resultados

En esta nueva etapa se decidió modificar el inicio de la sesión centrandolo en el trabajo de los científicos, las motivaciones que los llevan a hacer experimentos y a veces, sobre el manejo de las variables en un experimento. El tema de la introducción ahora resulta más adecuado ya que durante el trabajo

experimental los alumnos reconocen cómo ponen a prueba sus hipótesis y controlan las variables, por ejemplo. También se decidió tomar en cuenta el número de sesiones anteriores en *Experimenta* de los alumnos que asisten a química. Es decir, la sesión no es la misma si se trata del primer día de los alumnos en el proyecto que en el caso de ser la tercera o cuarta.

Además se decidió no mostrar el medidor de luz sino indicar que se cuenta con el equipo necesario para medir cualquiera de las variables, de esta forma no se influye en la decisión de los alumnos y por lo tanto se les da una mayor libertad.

Ahora, se procede a la demostración de la reacción dándoles solamente como restricción considerar el material con el que se dispone en el laboratorio antes de decidir lo que quieren investigar, para que posteriormente, sin acotarles el camino, ellos mismos generen una pregunta sin influencia del profesor o los asesores.

Las preguntas en esta nueva etapa son más variadas y no se centran sólo en la luz, algunas de ellas son:

- ¿Cómo puedo cambiar el color del producto final de la reacción?
- ¿Cómo le hago para cambiar el color de la luz emitida?
- ¿Variando la temperatura cambia el color de la luz emitida?
- ¿Se puede llevar a cabo la reacción utilizando los reactivos en sólido (sin disolver)?
- ¿Cómo le hago para que la luz sea más intensa y más duradera?
- ¿Después de la reacción, puedo separar las sustancias y obtener las originales?
- ¿El orden en que se mezclan las sustancias afecta a la reacción?
- ¿Si variamos la temperatura cambiará la viscosidad de la reacción?
- ¿Agitando las sustancias puede cambiar la intensidad luminosa y la duración de la reacción?
- ¿Puede volver a brillar?
- ¿El gas que se libera es oxígeno?
- ¿Por qué se reduce el volumen de la sustancia?
- ¿El producto puede pintar alguna superficie?

- ¿La reacción desprende calor?
- ¿Qué papel juega cada una de las sustancias?
- ¿Se altera el color de la luz aplicándole diferentes tipos de luz?
- ¿Qué material es más efectivo para utilizar la reacción como pintura?
- ¿Durará más la reacción si tapamos el frasco?
- ¿Cómo le hago para que la reacción tenga más burbujas?
- ¿Cuántas sustancias nuevas obtendré después de haber hecho la reacción?
- ¿Si aumentamos las cantidades de las sustancias proporcionalmente se modificará la intensidad luminosa y el tiempo de duración?

Así, tras una introducción sobre el trabajo de los científicos, las características de los procedimientos que utilizan y sin la presentación de medidor de luz, se obtiene una variedad mucho más amplia de preguntas generadas. Además esto confirma que efectivamente al presentar el medidor de luz se influye en la generación de preguntas.



Figura 3. Analizador de datos CASIO (ADC)

Para esta segunda etapa se diseñó un cuadro (Fig. 6) el cual se realizó con el fin de que los alumnos aclaren sus hipótesis, tengan un mejor manejo de las variables y por lo tanto un mejor diseño de sus procedimientos; además para

tener un instrumento de evaluación que nos permita conocer qué preguntas son las más frecuentes y también para tener listo el material necesario.

Los alumnos, después de haber observado la demostración de la reacción, frecuentemente tienen dificultad para plantear su pregunta, por lo que se les propone que planteen problemas o características que les gustaría cambiar del fenómeno que observaron y se les recomienda que inicien sus preguntas con: *¿Cómo le hago para...? o ¿Qué pasará sí...?*, de esta forma sus investigaciones son más concretas y se favorece la generación de hipótesis.

Al iniciar la parte experimental se les recuerda lo que se mencionó en la introducción acerca de que en cada experimento que realizan ponen a prueba una hipótesis y que deben plantear al menos tres hipótesis por cada pregunta además, que por cada hipótesis deben realizar al menos cuatro pruebas o mediciones. En ocasiones el tiempo de la sesión es insuficiente para terminar todas las pruebas de cada hipótesis por lo tanto les pedimos que realicen las que alcancen, siempre y cuando estén bien hechas. También se les pide en todo momento que identifiquen las variables que están manejando, la variable independiente, la dependiente y los parámetros fijos, además se les insiste en lo importante y necesario que es tener como mínimo cuatro datos para cada variable que estén modificando. Generalmente los alumnos creen que realizar una prueba de referencia y una prueba con la variable que desean es suficiente, por lo que tanto el profesor titular, como los asesores les explicamos que se requieren al menos cuatro ya que si existe una tendencia ésta se podrá observar de forma más clara. También se les explica, que tener más datos disminuye la probabilidad de error y en caso de sospechar que un dato está incorrecto es posible observarlo y repetirlo; cuando la pregunta es cualitativa como es el caso del cambio de color no resulta necesario que hagan más repeticiones.

El cierre de la sesión se inicia con una pregunta general para todos los alumnos: *¿Creen que trabajaron como científicos?*, la mayoría de los alumnos responden que “sí” y explican por qué creen que si lo hicieron, entre sus respuestas más frecuentes están:

- manejar variables durante su experimentación
- responder a su pregunta

- manipular material de laboratorio
- no saber exactamente qué va a pasar
- y trabajar con cierta disciplina

Cuando la respuesta es “no” ello lo atribuyen a que manejan cantidades muy pequeñas o no llegaron a la respuesta correcta. Entonces se les aclara que cuando se hace ciencia no siempre se dispone de cantidades suficientes para hacer experimentos a gran escala y que la mayoría de las veces es mejor trabajar con cantidades pequeñas para realizar más experimentos. Cuando no obtienen un resultado deseado se les hace ver que ésto también es parte del quehacer científico y que frecuentemente en vez de respuestas lo que se obtiene de una investigación son otras preguntas que generalmente serán más interesantes y mejor planteadas.

Otra cuestión importante en el cierre de la sesión es destacar la relevancia que tiene para los científicos presentar sus resultados. Al respecto generalmente comentan que es crucial para identificar errores, para complementar una investigación, para dar pauta a nuevas investigaciones, etc. Así se les invita a que ellos presenten sus resultados a la clase en una exposición breve utilizando un acetato como apoyo. Al inicio de estas exposiciones se les pide a los alumnos que pongan mucha atención y tengan una actitud crítica ante lo que presente el equipo expositor y en caso de que algo no les parezca lógico, detecten un error, tengan dudas respecto al procedimiento experimental o se contradiga con sus resultados lo hagan notar inmediatamente. Entonces generalmente se establece una discusión la cual resulta enriquecedora, en algunas ocasiones dos o más equipos trabajan con la misma pregunta y frecuentemente se observa que obtienen resultados contradictorios, lo que genera una discusión entre los equipos tratando de decidir quién tiene la razón, en estos casos se les explica que la misma situación sucede cuando se hace ciencia y que la única forma de confirmar la respuesta es repitiendo la experimentación y aclarar las condiciones bajo las cuales se trabaja.

Al final de las exposiciones se les hace ver a los alumnos que después de escuchar los resultados de todos, ya conocen el sistema de una forma amplia pues la investigación de cada uno se complementa con la de los demás, de tal

forma que ya dominan el sistema y pueden hacer que se comporte como ellos deseen, ya sea que dure más, que sea más intenso y/o que cambie de color.

Otra de las modificaciones para la segunda etapa fue disminuir el número de integrantes en cada equipo de trabajo, ya que en los equipos de 4 personas o más el trabajo se vuelve desordenado y al menos uno de los integrantes no trabaja adecuadamente.

### 5.1.3 Aciertos.

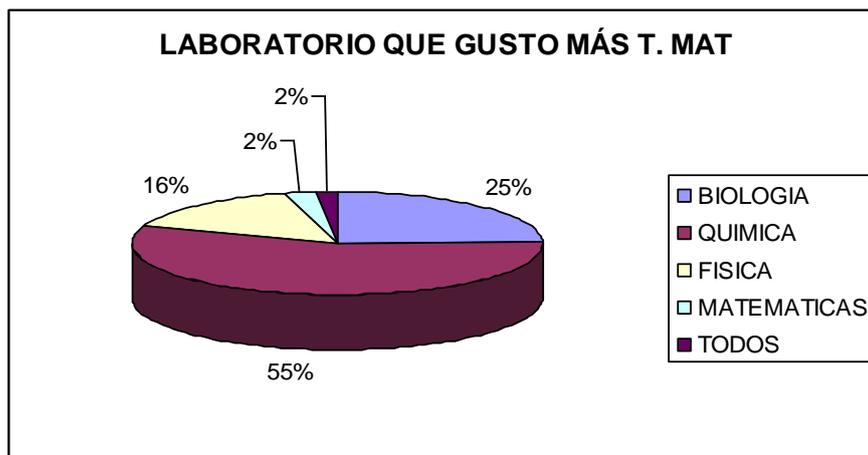
Mediante el análisis realizado sobre la segunda etapa del proyecto se pueden identificar aciertos que han permitido que la estrategia tenga un impacto positivo en los alumnos y por ello que contribuya para alcanzar el objetivo principal de *Experimenta: que los estudiantes del bachillerato hagan ciencia*.

Entre los aciertos en el laboratorio de química está el contar con personal capacitado y con amplio criterio, que está abierto para aceptar las propuestas de los estudiantes y que cuenta con la formación en la disciplina para enfrentar situaciones experimentales inesperadas, corregir el planteamiento de la investigación o, en dado caso, para resolver dudas que los participantes tengan.

En el laboratorio siempre se ha fomentando la participación, el intercambio de ideas y la crítica constructiva, esto sin cambiar la esencia de la pregunta diseñada por los jóvenes con la finalidad de que ellos sean los que decidan su investigación sin influencia de los profesores o los asesores, cuyo trabajo es auxiliar a los equipos de trabajo durante la sesión aclarando dudas y resolviendo problemas técnicos a las propuestas.

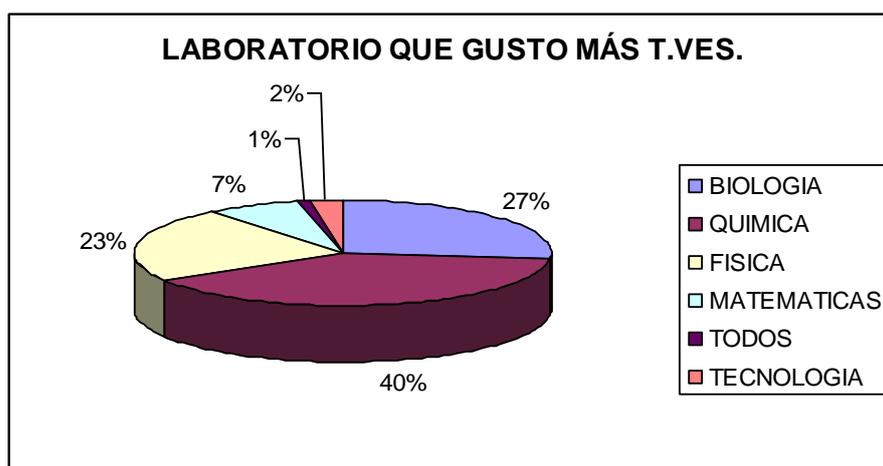
Los aciertos mencionados sobre las actividades que se realizan en el laboratorio de química se reflejan en los resultados obtenidos de dos cuestionarios, uno del turno matutino y otro para el turno vespertino aplicado por las autoridades del CCH plantel sur. Estos resultados se muestran a continuación.

Turno matutino.



Gráfica 1. Laboratorio que más les gusta a los alumnos del turno matutino.

Turno vespertino.



Gráfica 2. Laboratorio que más les gusta a los alumnos del turno vespertino.

En las gráficas se puede observar que, en ambos turnos, el taller de química es el que más agrada a los estudiantes. Sin duda alguna, el éxito del laboratorio de química es la estrategia que se sigue, ya que se aclara cuál es el propósito de que estén allí, se les da la libertad para que elijan lo que quieren hacer y, lo más importante, toman el control sobre la actividad experimental. Esta responsabilidad que adquieren los alumnos es clave para captar su atención en todo momento, pues ellos deciden todo lo que se va a hacer y cómo se va a hacer, en ese momento identifican la importancia que tiene cada uno de ellos y sus decisiones en su investigación, en contraste con el modelo educativo que se sigue

frecuentemente en sus clases de laboratorio curriculares donde la investigación está prediseñada y lo único que pueden hacer es seguirla al pie de la letra reprimiendo su creatividad. En esta sesión son libres de diseñar su propio método científico lo que resulta muy atractivo para los estudiantes.

#### 5.1.4. Sobre la oportunidad de la reacción empleada.

También es importante resaltar el éxito que tiene la reacción empleada en este laboratorio, ya que es muy atractiva para los estudiantes lo cual permite capturarlos desde el momento en el que ven luz desprenderse a partir de unos líquidos incoloros. Una de las ventajas de este fenómeno quimiluminiscente es el hecho de que la mayoría lo ha visto en sus vidas cotidianas como en fiestas, conciertos, etc. Incluso algunos estudiantes han realizado pequeños experimentos de manera empírica para modificar las características de esta reacción, como el introducir pulseras o baritas luminosas en el refrigerador con el propósito de que el tiempo de emisión de luz se prolongue.

Otro punto a favor dentro del taller de química es el hecho de que la sesión es muy dinámica debido a que las etapas de introducción, generación de preguntas y discusión de resultados abarcan un tiempo máximo de 1 hora lo que deja alrededor de 2 horas y 45 minutos de tiempo para el trabajo experimental. Lo anterior lleva a que los alumnos en todo momento se mantengan trabajando concentrados, enfrentándose al sistema y sus complicaciones, generando nuevas preguntas o ideas que les permite aprovechar más la sesión y por lo tanto desarrollar un pensamiento más crítico, además de inculcarles el empleo de una metodología más formal al momento de experimentar.

#### 5.1.5 Anotaciones sobre las poblaciones asistentes

Es importante aclarar que el trabajo que desempeñan en *Experimenta* los estudiantes inscritos en el turno matutino (TM) del CCH no se puede comparar con el que realizan los del turno vespertino (TV), ya que las condiciones son diferentes. Por una parte, la cantidad de estudiantes del TM que asiste a *Experimenta* es mayor, aproximadamente del doble, que la que acude del TV. Esta situación es la misma en sus clases curriculares pues mientras que en el TV

asiste aproximadamente el 50% de la población inscrita en el TM regularmente se presenta el 90% del alumnado.

El número de asistentes a *Experimenta* influye de manera importante en la dinámica, el trabajo e incluso la duración de la sesión pues por una parte una sesión con pocos alumnos tiende a ser más corta lo que lleva a que los alumnos no se agoten y se aproveche más su esfuerzo. También favorece una atención más personalizada por parte de los asesores lo que generalmente lleva a investigaciones más claras y precisas. Sin embargo, el otro factor que distingue ambos turnos es la disposición con que se presentan los estudiantes. Mientras que al menos la mitad de los alumnos que asisten del TV lo hacen con cierta apatía o desgano, la mayoría del TM muestra muy buena disposición para el trabajo. Así los estudiantes del TM generan preguntas con mayor facilidad y participan más, lo que cambia significativamente la dinámica de la sesión volviéndola más activa y por lo tanto más enriquecedora ya que se presentan diversos puntos de vista y se favorece el intercambio de ideas

#### 5.1.6 Fuentes de error.

Las fuentes de error de la estrategia y las complicaciones que han traído consigo, son el punto central de este trabajo de tesis pues es necesario identificarlos, analizarlos y corregirlos con el fin de impartir cada vez una sesión de química con mayor calidad, adecuada a los requerimientos de los alumnos y acorde con los objetivos de *Experimenta*.

##### 5.1.6.1 Tamaño de los grupos

Uno de los problemas que frecuentemente enfrenta toda estrategia didáctica es el número de alumnos que hay que atender. En el caso del CCH se tienen grupos numerosos, de alrededor de 45 alumnos, Por lo que se trabaja con el grupo dividido en dos secciones (A y B), cada sección acude al taller por separado, de esta manera se disminuye la carga de alumnos y por lo tanto se trabaja en un ambiente más cómodo. Cabe destacar que pocas veces asiste al taller la sección completa, especialmente los grupos del TV, por lo que se maneja un número

promedio de 20 alumnos del TM y 12 del TV con los cuales se forman equipos de 4 personas como máximo.

#### 5.1.6.2 Administración del tiempo

En ocasiones sucede que algunos equipos, por el tipo de pregunta o debido a la disposición de los alumnos, indican que ha terminado su trabajo mucho antes que los demás. Esta situación es difícil de enfrentar pues los que han terminado se cansan de esperar a los demás y se inquietan generando desorden o distraendo a sus compañeros. Lo anterior puede llevar a un círculo vicioso pues al verse perturbado el trabajo del resto el tiempo de la sesión puede prolongarse volviéndose tediosa y cansada, disminuyendo así la motivación de los asistentes. Por lo anterior, de ningún modo debe permitirse llegar a este tipo de problemas, para ello habrá que evaluar constantemente el avance de cada uno de los equipos para que dado el caso se promueva la ampliación de esa investigación. Sin que los alumnos sientan que se les está entreteniéndolos sin razón, puede cuestionárseles sobre alguna otra variable dependiente que, aunque inicialmente no fuera de su interés, hayan visto modificada por las alteraciones hechas al sistema.

Otra de los puntos importantes en este proceso es el hecho de que se deben dar especificaciones acerca de lo que debe llevar el acetato pues el no hacerlo trae consigo que los estudiantes plasmen demasiado texto en él volviéndolo aburrido, que no tengan orden por lo que sería confuso o que sea tan simple que no aporte información para la exposición.

Dentro del taller, y específicamente dentro del trabajo práctico, el papel de los asesores es fundamental, pues están encargados de que los alumnos no se pierdan en el curso de la investigación y no estén trabajando de manera incorrecta, por ello es necesaria la atención del asesor en todo momento sin involucrarse de lleno con el experimento de tal forma que el asesor sólo desempeñe la función de aclarar dudas y corregir en caso de que sea necesario como puede ser el que manejen mal las variables o que estén midiendo mal los volúmenes de los reactivos, etc.

**REPRODUCCIÓN DE LOS  
EXPERIMENTOS  
REALIZADOS POR LOS  
ALUMNOS CON MAYOR  
FRECUENCIA**

## 6. REPRODUCCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS RDOS POR LOS ALUMNOS CON MAYOR FRECUENCIA.

La reproducción y análisis de los experimentos que realizan los alumnos en el laboratorio son muy importantes, ya que con ello podemos identificar las causas de los problemas que frecuentemente enfrentan en sus investigaciones. La posibilidad de evitar complicaciones en el trabajo experimental es fundamental pues la obtención de resultados confusos afecta la motivación de los estudiantes.

En esta parte del trabajo se manejaron las variables que los alumnos deciden modificar con mayor frecuencia, estas son: las concentraciones de los tres reactivos, la temperatura, el orden de adición y el volumen total de la reacción.

### 6.1 Efecto de la variación de la cantidad y concentración de los reactivos en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción. Gráficas comparativas.

En el taller de química se ha observado que cuando los alumnos proponen modificar la cantidad de reactivos en sus investigaciones, en todo momento se refieren y piensan en cambiar el volumen que agregan de la misma disolución. Lo anterior y la experiencia obtenida de las discusiones que se han tenido con ellos, reflejan que aunque el tema está incluido en el programa de química I que ya cursaron, los alumnos de tercer y cuarto semestre no tienen claro y mucho menos utilizan el concepto de concentración. Así con el fin de no convertir la sesión en una clase de química y con el propósito de que los alumnos empleen los conocimientos que efectivamente tienen, se decidió que trabajaran de acuerdo con su propuesta modificando el volumen que emplean de las disoluciones. Al respecto es importante enfatizar que el objetivo de *Experimenta* no es que los alumnos aprendan o reafirmen conceptos vistos en sus materias curriculares, sino que aprendan cómo trabajar con un procedimiento científico diseñado por ellos que involucra manejo de equipo, manejo de variables, análisis, interpretación y discusión de resultados. Sin embargo, considerando que el efecto de la dilución puede ser un factor importante en el desarrollo de la reacción, al reproducir las actividades se decidió explorar los dos procedimientos: variación del volumen de disolución adicionado y uso de varias disoluciones con diferente concentración

manteniendo el volumen total constante. Así, fue posible determinar cuándo hay diferencias importantes entre los dos procedimientos y adecuar las condiciones de trabajo para que los alumnos se lleven una respuesta correcta acerca del comportamiento del sistema.

A continuación se presentan los resultados referentes a la variación de cada uno de los reactivos: luminol, sulfato de cobre y agua oxigenada, en el siguiente orden:

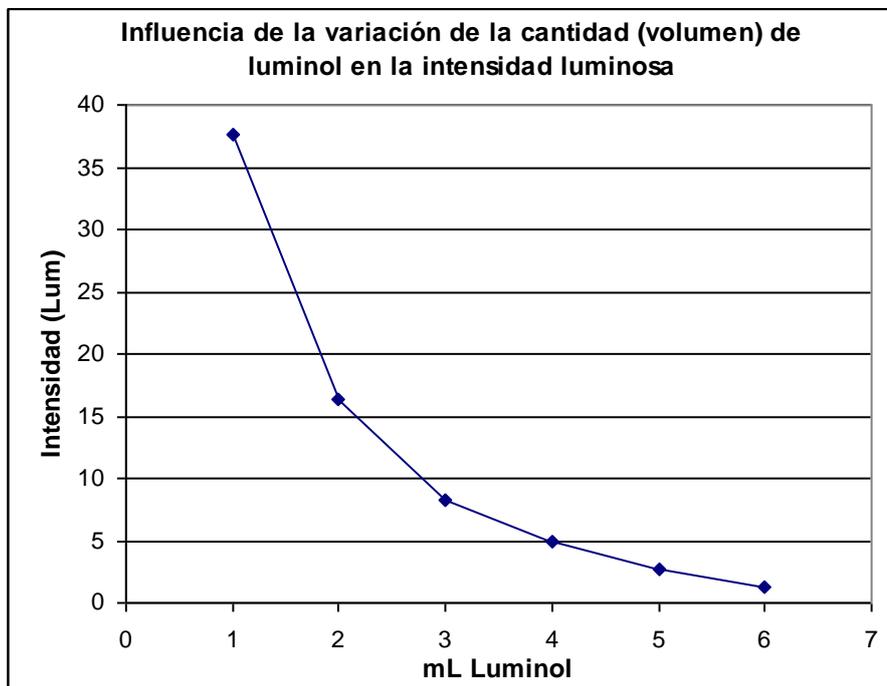
- Gráficas de la variación de la intensidad de luz y del tiempo de duración de la emisión en función del **volumen de reactivo empleado**
- Tabla de las concentraciones que se obtienen al variar el volumen de reactivo
- Gráficas de la variación de la intensidad de luz y del tiempo de duración de la emisión en función de la **concentración de reactivo empleado**
- Comparación de las gráficas de variación de la intensidad de luz en función del volumen de reactivo empleado y en función de su concentración
- Comparación de las gráficas de variación del tiempo de duración en función del volumen de reactivo empleado y en función de su concentración

Para la realización de los experimentos se preparó una disolución 2 mM de luminol, una 6mM de  $\text{CuSO}_4$  y una 50 mM de agua oxigenada, iguales a las que usan los alumnos en las sesiones.

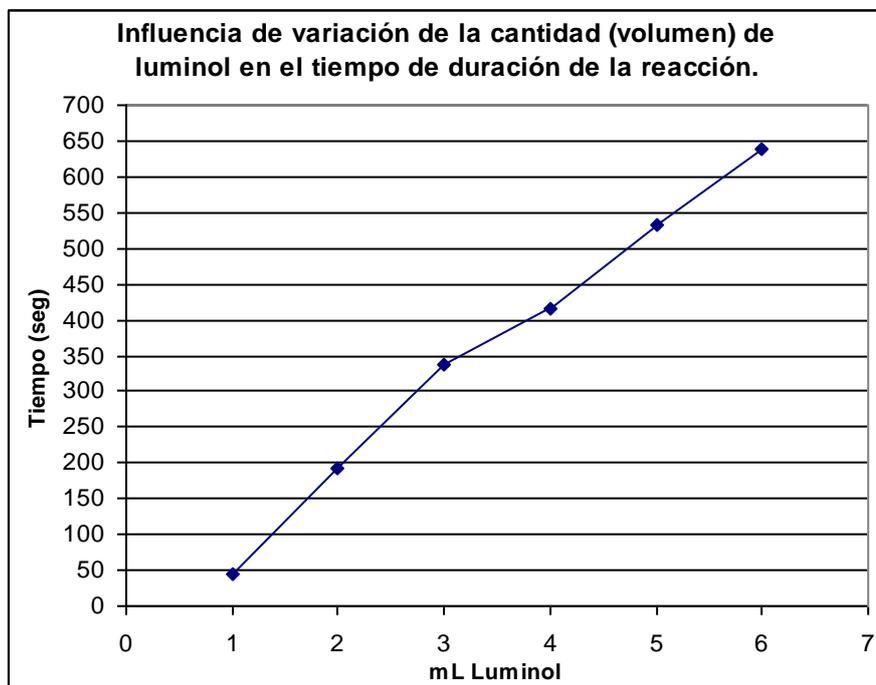
Las mediciones de la intensidad se realizaron con el analizador CASIO tal como lo realizan los alumnos. El analizador, mediante una fotocelda, mide la intensidad luminosa (lúmenes) cada segundo y envía la señal a la graficadora donde se obtiene una gráfica de la variación de la intensidad luminosa en función del tiempo. Las intensidades que se reportan para cada concentración de los reactivos corresponden al valor máximo de intensidad que se obtiene en el primer instante de la reacción. El tiempo de duración corresponde al que se mide desde que inicia la reacción hasta que visualmente ya no se distingue emisión alguna.

### 6.1.1 Luminol

#### Variación del volumen



Gráfica 3. Influencia de la cantidad de luminol en la intensidad de luz emitida por la reacción.



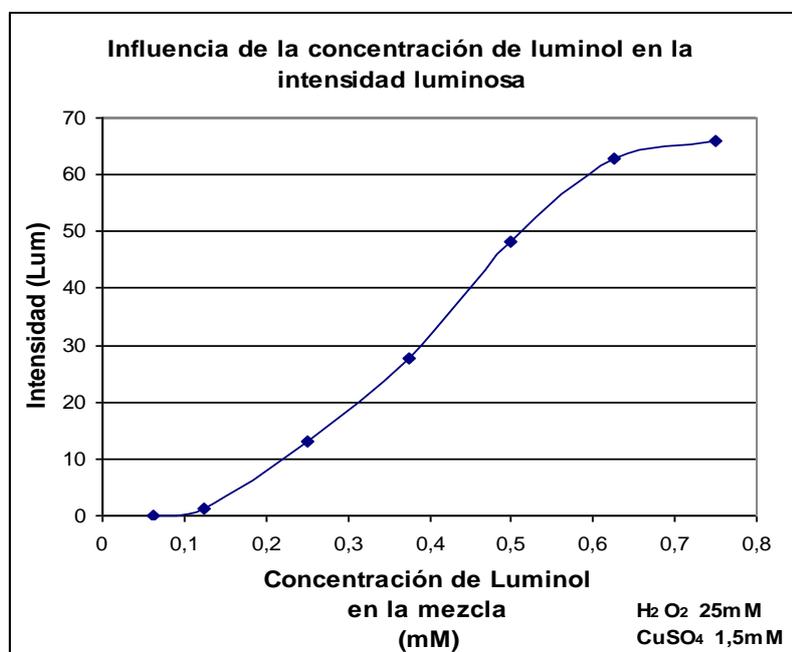
Gráfica 4. Influencia de la cantidad de luminol en el tiempo de duración de la reacción.

Cantidad adicionada de Luminol. (mL)	[Luminol] (mM)	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (mM)	[CuSO <sub>4</sub> ] (mM)
1	0.5	25	1.5
2	0.8	20	1.2
3	1	16.67	1
4	1.14	14.29	0.86
5	1.25	12.5	0.75
6	1.33	11.11	0.67

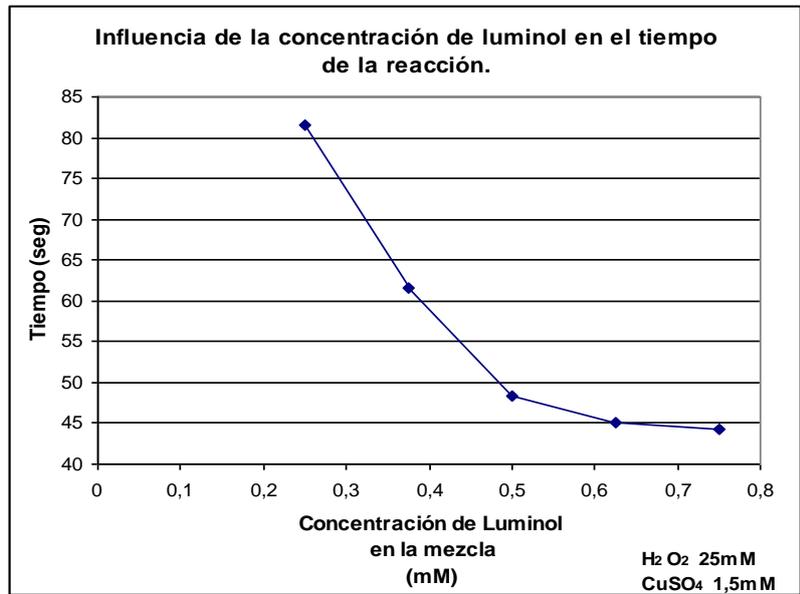
Tabla 1. Concentración de Luminol, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y CuSO<sub>4</sub> en la mezcla al variar el volumen de disolución de luminol adicionada. En todos los casos se agregó 1 mL de CuSO<sub>4</sub> 6mM y 2 mL de H<sub>2</sub>O 50 mM.

Las gráficas 3 y 4 muestran la influencia del volumen de disolución de luminol empleado en la reacción sobre la intensidad y el tiempo de la emisión. En ellas se observa que la relación entre la intensidad de luz y el volumen de luminol es inversa en tanto que el tiempo es directamente proporcional a la cantidad de luminol adicionada.

#### Variación de la concentración



Gráfica 5. Influencia de la concentración de luminol en la intensidad de luz emitida por la reacción.

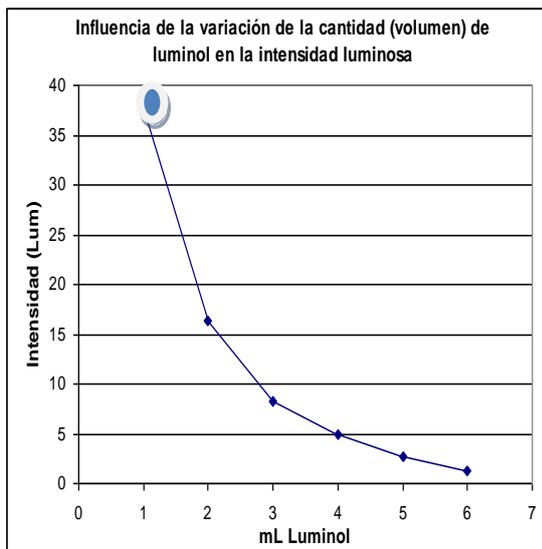
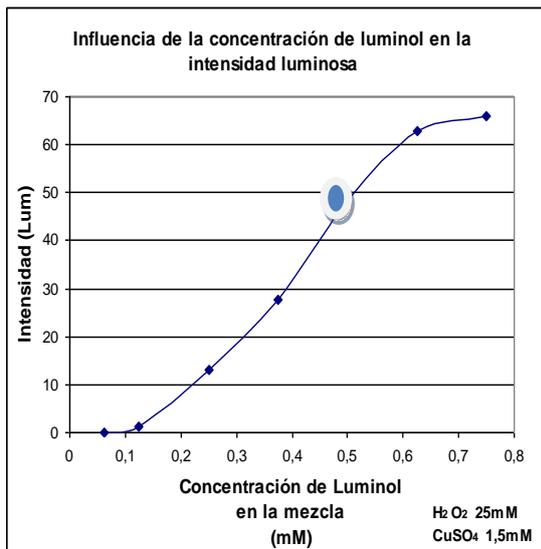


Gráfica 6. Influencia de la concentración de luminol en el tiempo de duración de la reacción

Las gráficas 5 y 6 muestran el efecto de la variación de la concentración del luminol empleado sobre la intensidad y el tiempo de la emisión. Las tendencias observadas indican que al aumentar la concentración de luminol la reacción se hace cada vez más rápida.

Intensidad.

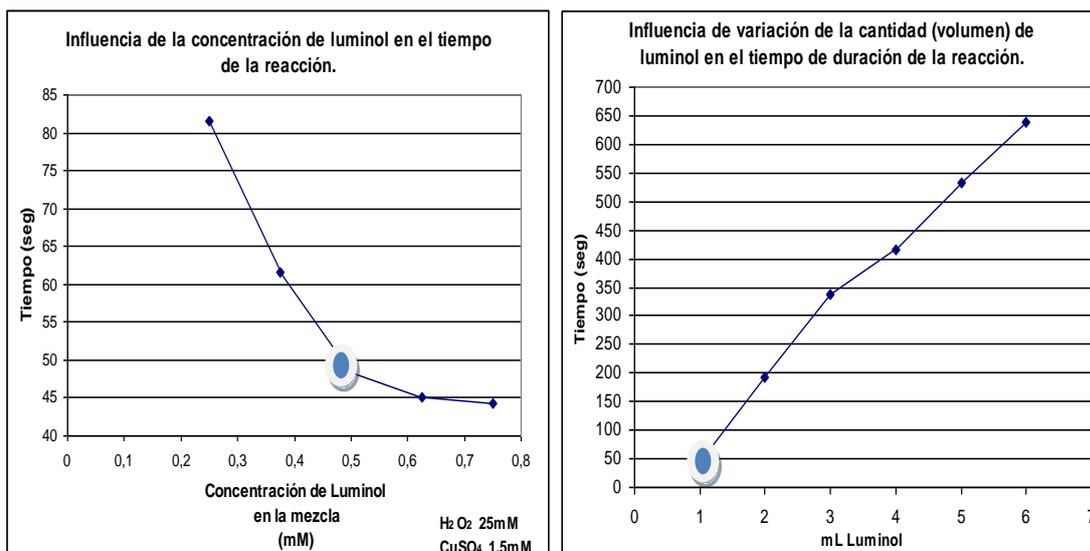
Comparativa volumen y concentración



Comparación de las gráficas 5 y 3

Los puntos señalados en cada gráfica son los únicos que corresponden a condiciones equivalentes.

## Tiempo



### Comparativo entre las gráficas 6 y 4

● Puntos similares entre cada par de gráficas. Los puntos señalados en cada gráfica son los únicos que corresponden a condiciones equivalentes.

Al comparar las gráficas anteriores se observa que las tendencias que se obtienen variando el volumen o la concentración del luminol adicionado son opuestas. Así, cuando lo que se varía es el volumen, la tendencia sugiere que la velocidad de la reacción disminuye conforme se aumenta el volumen de luminol adicionado. Sin embargo, aún cuando la concentración del luminol efectivamente se está aumentando (ver tabla 1) existen dos factores importantes que vuelven compleja la interpretación: por una parte la concentración de los otros dos reactivos que disminuye conforme se adiciona luminol por efecto de la dilución y la ventana por donde mide el detector que puede pensarse que se *diluye* al aumentar el volumen total de la mezcla.

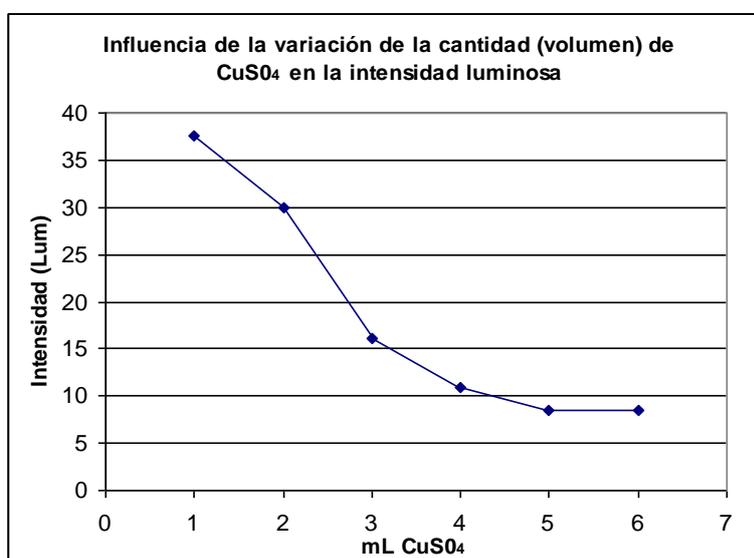
Ahora, en el caso donde se varía la concentración del luminol los datos obtenidos se consideran más confiables ya que el resto de los parámetros se mantienen constantes. Es así, que de las gráficas 5 y 6 se puede concluir que al aumentar la concentración del luminol la velocidad de la reacción aumenta así como su eficiencia.

Con base en estos resultados parece más conveniente ofrecer a los estudiantes varias disoluciones con diferentes concentraciones de luminol para que obtengan resultados confiables o bien dejar que varíen el volumen y al analizar los resultados considerar y discutir con ellos el efecto de la dilución.

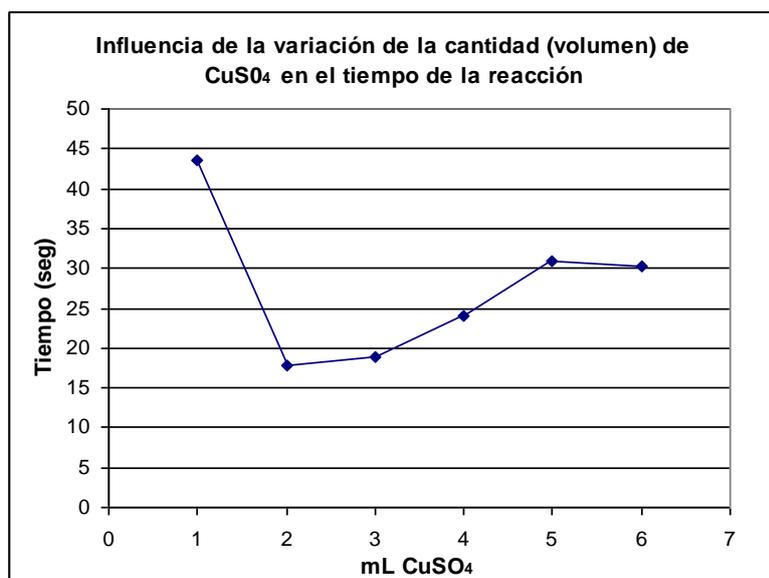
### 6.1.2 Sulfato de Cobre

#### Variación del volumen

Las gráficas 7 y 8 nos muestran la influencia del volumen de disolución de  $\text{CuSO}_4$  empleado en la reacción sobre la intensidad y el tiempo de la emisión.



Gráfica 7. Efecto de la variación de la cantidad de  $\text{CuSO}_4$  en la intensidad de la luz emitida por la reacción.



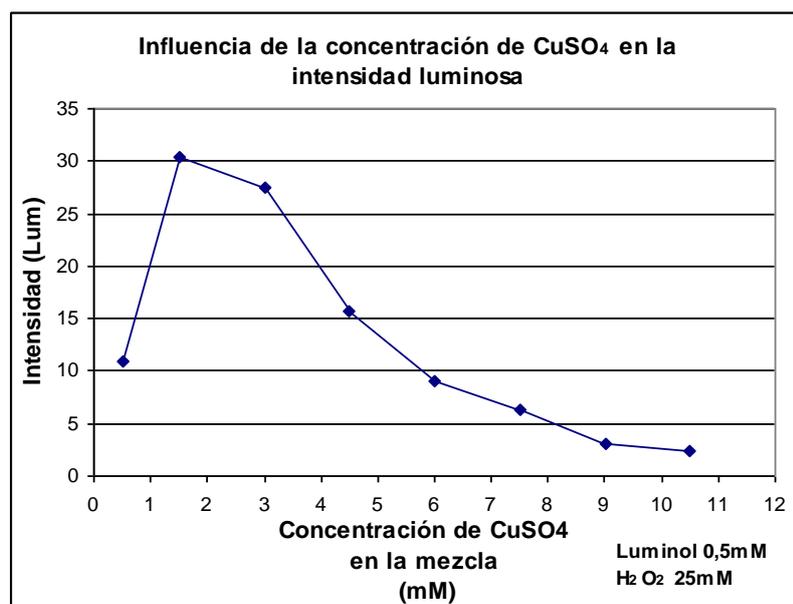
Gráfica 8. Efecto de la variación de la cantidad de  $\text{CuSO}_4$  en el tiempo de duración de la reacción

Volumen de CuSO <sub>4</sub> adicionado. (mL)	[CuSO <sub>4</sub> ] (mM)	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (mM)	[Luminol] (mM)
1	1.5	25	0.5
2	3	20	0.4
3	4.5	16.67	0.33
4	6	14.29	0.29
5	7.5	12.5	0.25
6	9	11.11	0.22

Tabla 2. Concentración de CuSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y Luminol en la mezcla al variar la cantidad de CuSO<sub>4</sub>. En todas las reacciones se agregaron 1 mL de Luminol 2mM y 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 50mM

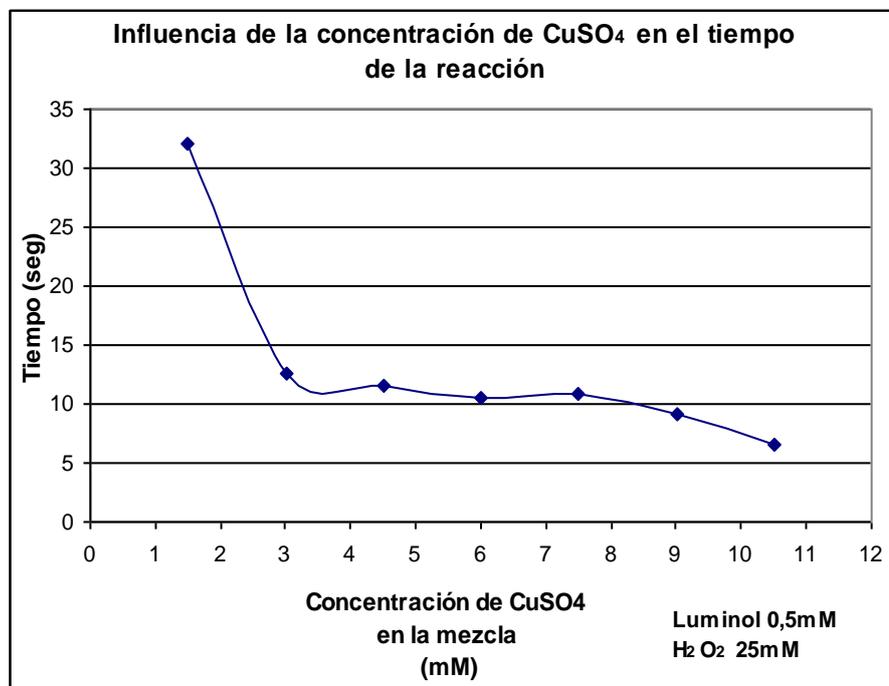
### Variación de la concentración

La gráfica que se presenta a continuación muestra cómo varía la intensidad de la luz emitida por la reacción al variar la concentración de sulfato de cobre, aquí observamos que con concentraciones entre 1 y 2 mM de sulfato de cobre la reacción presenta un incremento en la intensidad llegando a un punto máximo, al ser el sulfato de cobre un catalizador hace que la reacción se lleve a cabo de forma tan rápida que emite la luz en un instante, después del punto máximo la intensidad empieza a bajar hasta volverse casi constante.



Gráfica 9. Influencia de la concentración de sulfato de cobre en la intensidad de luz emitida por la reacción

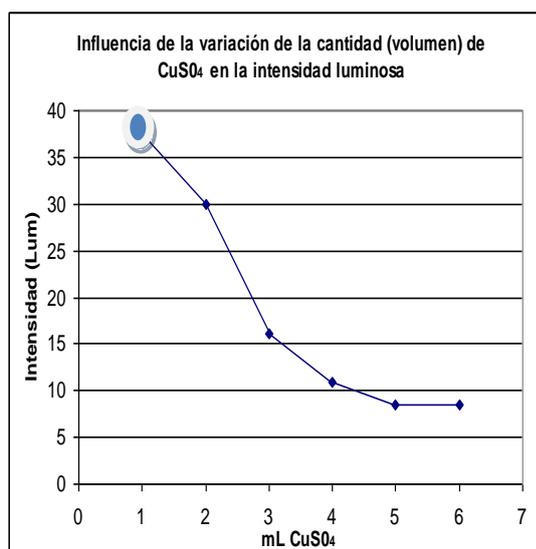
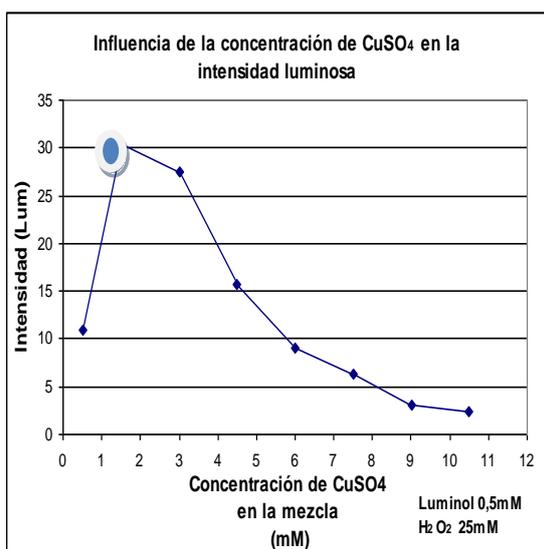
La grafica 10 muestra la variación del tiempo de duración de la reacción con la concentración de sulfato de cobre, en ésta se puede observar claramente el papel que desempeña el catalizador, ya que al aumentar la concentración de sulfato de cobre la reacción dura menos hasta que el tiempo se vuelve constante.



Gráfica 10. Influencia de la concentración de CuSO<sub>4</sub> en el tiempo de duración de la reacción.

### Intensidad

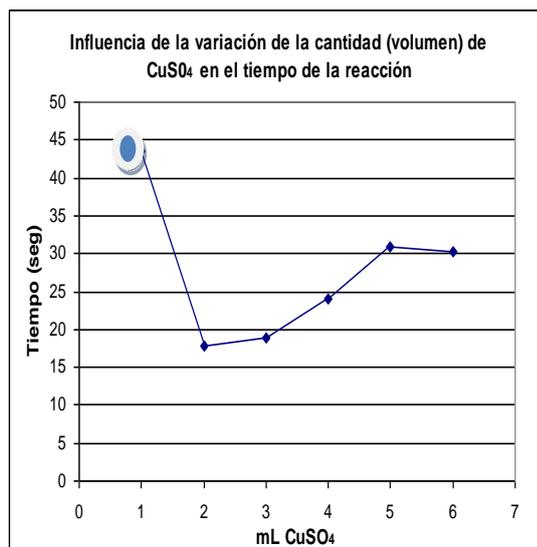
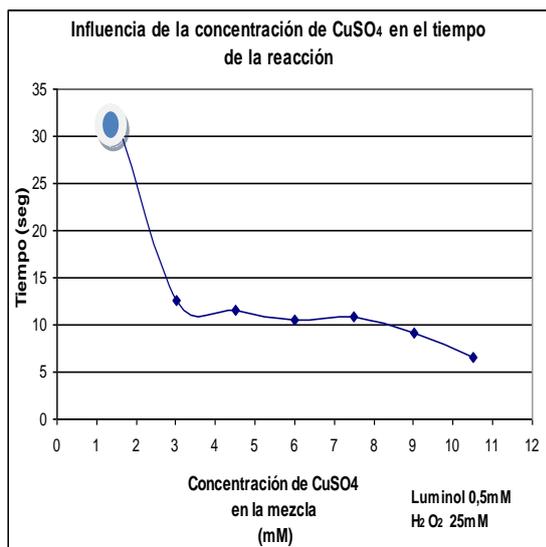
### Comparativo volumen concentración



Comparativo entre las gráficas 9 y 7

● Puntos similares entre cada par de gráficas.

Tiempo.



Comparativo entre las gráficas 10 y 8

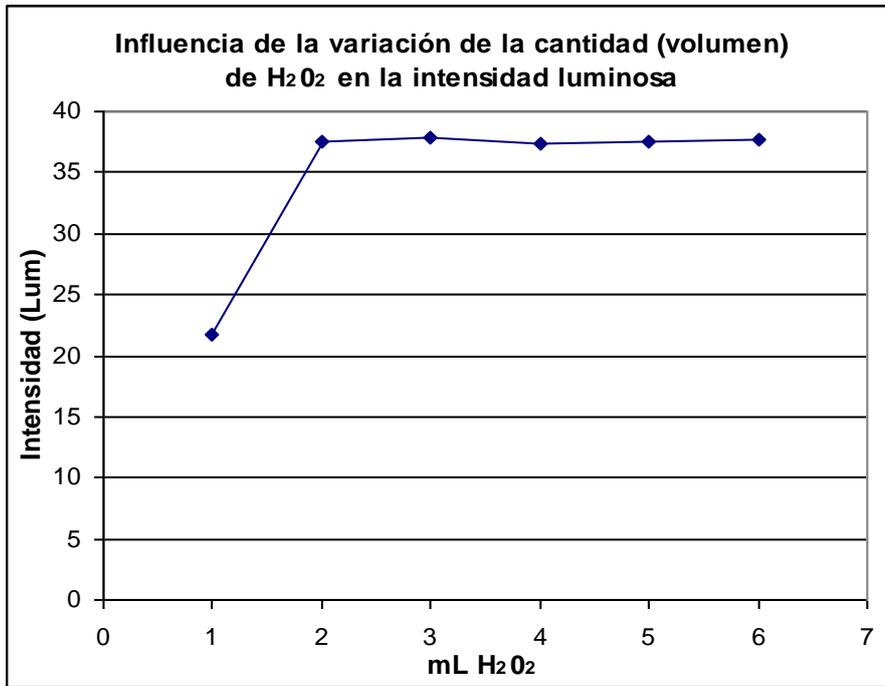
● Puntos similares entre cada par de gráficas.

Al comparar las gráficas de variación de la intensidad respecto a la concentración y el volumen del sulfato de cobre se observa que las tendencias obtenidas son equivalente por lo que el efecto de la dilución no afecta de forma importante los resultados que obtienen los alumnos por uno u otro método.

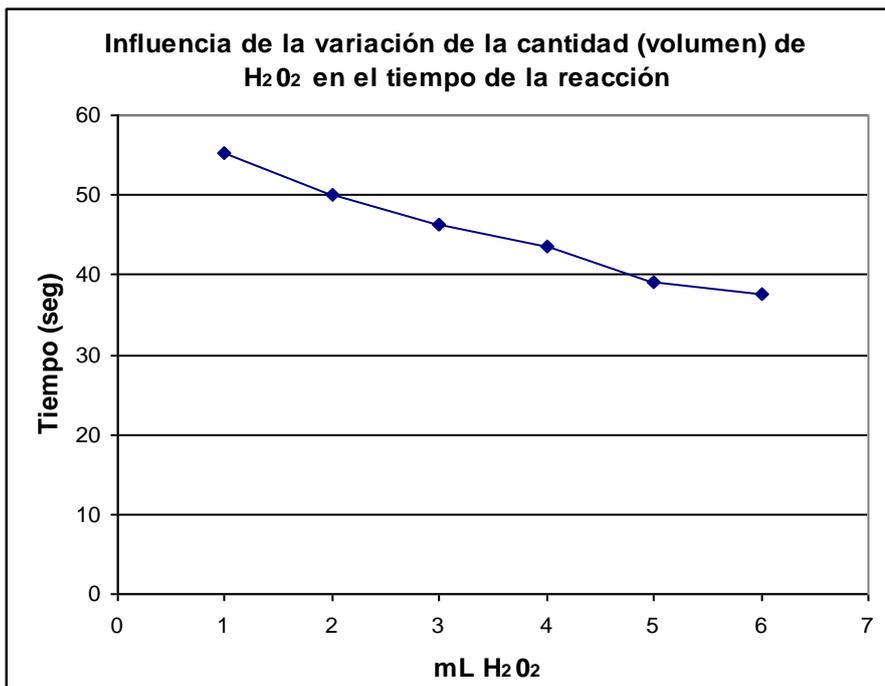
La caída que se observa, tanto para los valores de intensidad como de tiempo después de cierto valor de CuSO<sub>4</sub> en todas estas gráficas puede explicarse pensando que, por encima de las cantidades catalíticas el medio básico de la mezcla favorece la formación y precipitación de Cu(OH)<sub>2</sub> que obstaculiza la ventana del detector y además consume parte del reactivo disminuyendo con ello la eficiencia de la reacción. La precipitación del compuesto insoluble puede detectarse a simple vista cuando se realiza la reacción.

### 6.1.3 Peróxido de Hidrógeno

Las gráficas 11 y 12 nos muestran el efecto de la variación del volumen de peróxido de Hidrógeno en la intensidad de la luz emitida por la reacción y en el tiempo de duración.



Grafica 11. Influencia de la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la intensidad de la luz emitida por la reacción.

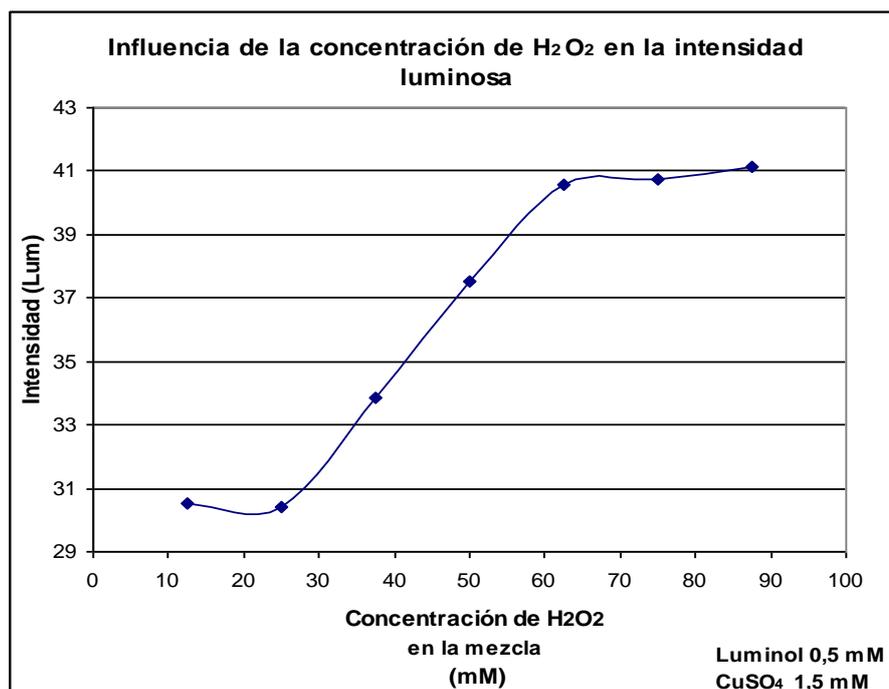


Gráfica 12. Influencia de la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en el tiempo de duración de la reacción.

Cantidad de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . (mL)	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ] (mM)	[CuSO <sub>4</sub> ] (mM)	[Luminol] (mM)
1	16.67	2	0.67
2	25	1.5	0.5
3	30	1.2	0.4
4	33.33	1	0.33
5	35.71	0.86	0.29
6	37.5	0.75	0.25

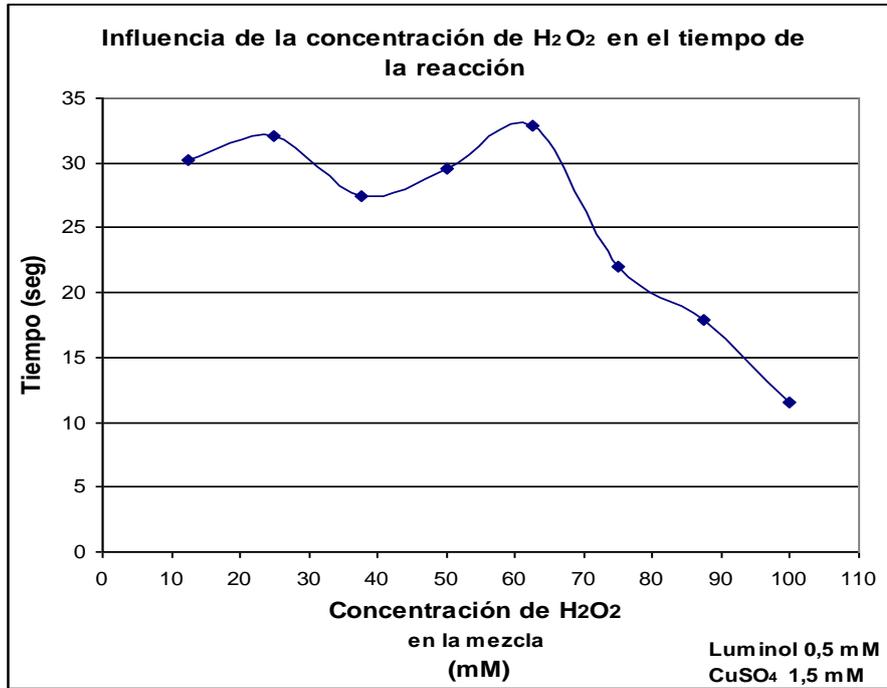
Tabla 3. Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub> y Luminol en la mezcla al variar la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

La gráfica 13 muestra la variación de la intensidad de la luz emitida por la reacción con respecto al cambio de la concentración del agua oxigenada, en esta gráfica podemos observar que conforme aumenta la concentración del agua oxigenada aumenta la intensidad de la luz emitida, llegando a un punto en cual la intensidad se vuelve constante.



Gráfica 13. Influencia de la concentración de peróxido en la intensidad de luz emitida por la reacción

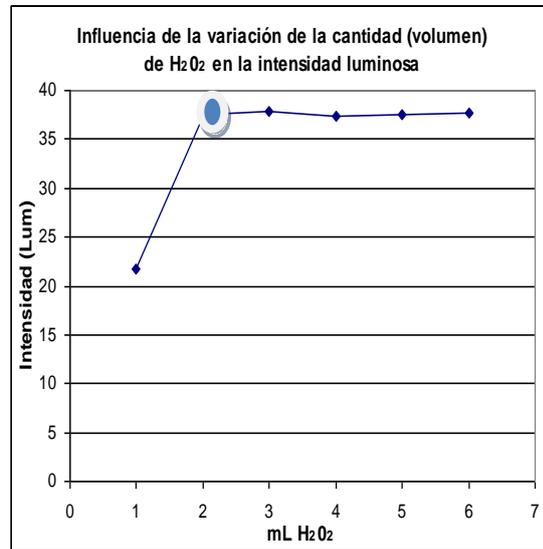
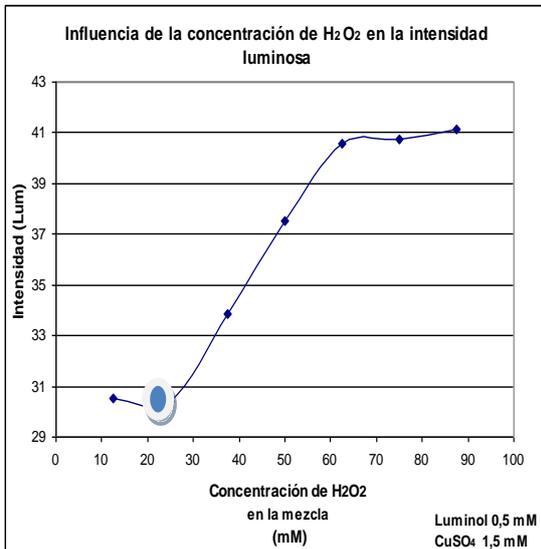
La gráfica 14 nos indica la variación del tiempo de duración de la reacción al cambiar la concentración de agua oxigenada, aquí se puede observar que aunque la tendencia no es clara el tiempo de emisión tiende a disminuir.



Gráfica 14. Influencia de la concentración de peróxido en el tiempo de duración de la reacción.

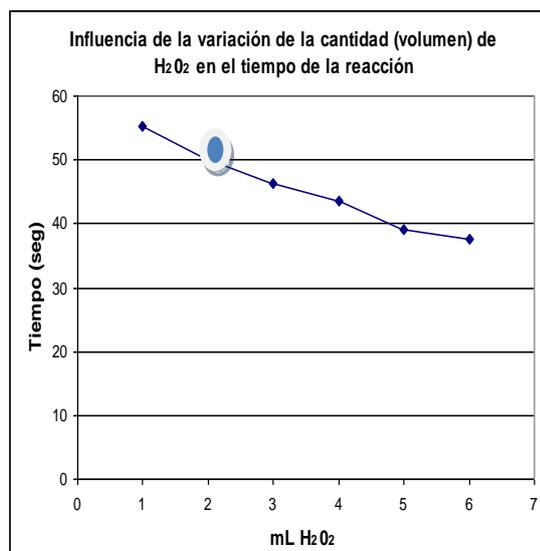
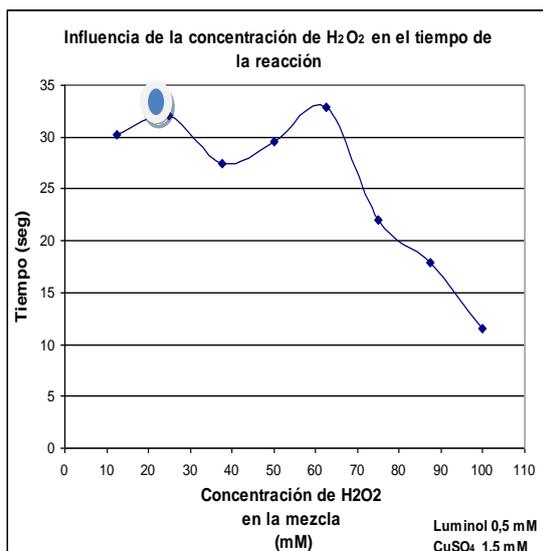
Variación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Intensidad.



● Puntos similares entre cada par de gráficas.

Tiempo.

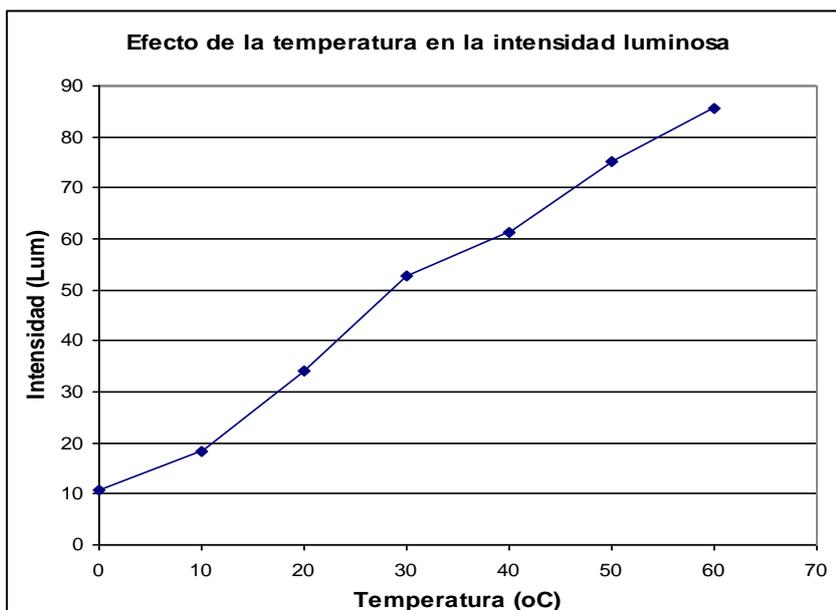


● Puntos similares entre cada par de gráficas.

Con base en estos resultados se puede concluir que al aumentar la cantidad de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en la reacción tanto la velocidad como la eficiencia aumentan, sin que el efecto de dilución represente una diferencia importante. Observando las comparativas se puede sugerir que los alumnos trabajen variando el volumen de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pues de esta forma obtendrán tendencias más claras y podrán interpretar los resultados sin mucho conflicto.

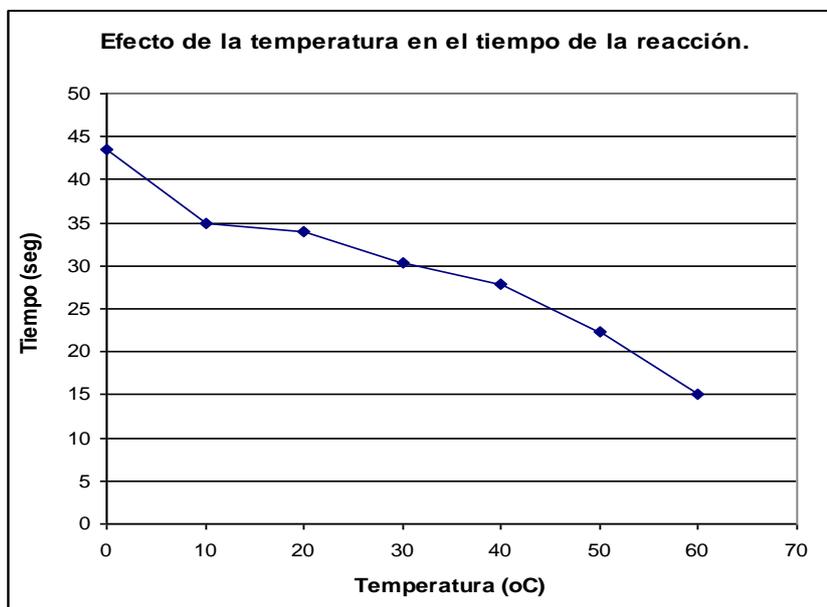
6.2 Efecto de la variación de la temperatura en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción.

La siguiente grafica muestra el efecto que tiene la variación de la temperatura sobre la intensidad de la luz emitida por la reacción. Ahí observamos que a mayor temperatura mayor intensidad de luz. Así, puede pensarse que la temperatura actúa como catalizador aumentando la velocidad con la que las moléculas se desplazan favoreciendo la interacción molecular y la generación de una emisión más intensa, ya que todas las moléculas reaccionan en un tiempo muy corto.



Gráfica 15. Efecto de la temperatura en la intensidad de luz emitida por la reacción.

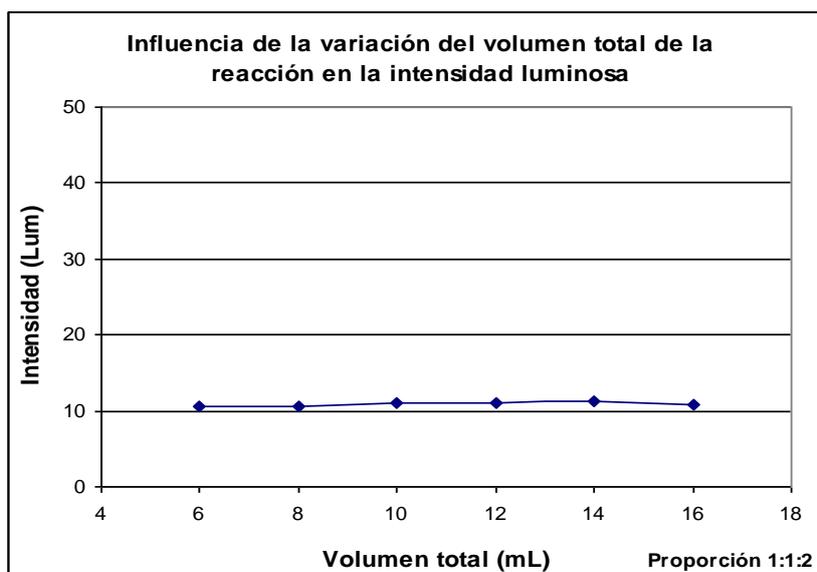
La gráfica 16 nos muestra el efecto de la temperatura en el tiempo de duración de la reacción, aquí podemos observar que al aumentar la temperatura la duración de la reacción disminuye, esto porque la temperatura está acelerando las moléculas favoreciendo las colisiones entre ellas y disminuyendo con ello el tiempo de emisión de luz.



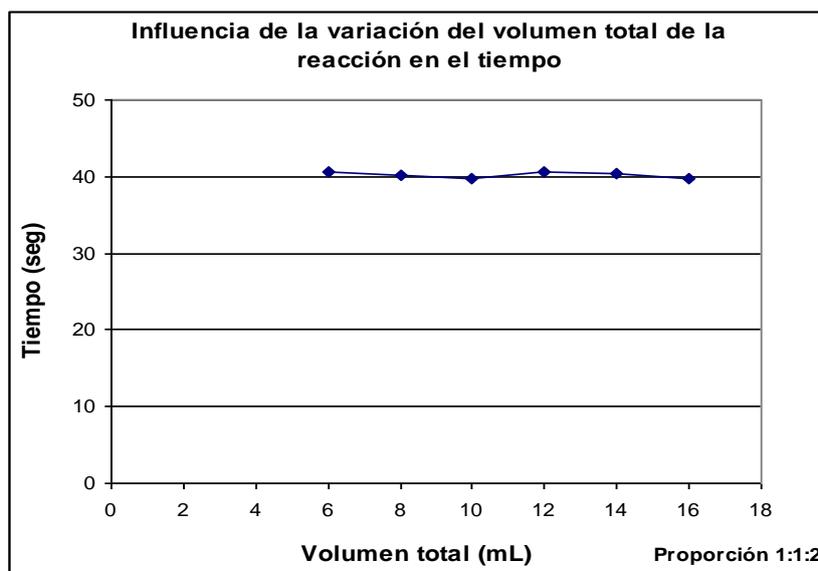
Gráfica 16. Efecto de la temperatura en el tiempo de duración de la reacción

6.3 Efecto de la variación del volumen total en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción, manteniendo constante la proporción de los tres reactivos.

La variación de la intensidad de la luz así como del tiempo de duración de la reacción con el volumen total de la mezcla se muestran en las graficas 17 y 18 respectivamente, aquí podemos observar que al aumentar el volumen total de la reacción manteniendo la proporción (1:1:2 luminol, sulfato de cobre, agua oxigenada) no hay diferencia en la intensidad de la luz emitida, ni en la duración de la misma.



Gráfica 17. Influencia de la variación del volumen total de la reacción en la intensidad de luz emitida por la misma. La proporción corresponde a 1: Luminol 1: Sulfato de Cobre 2: Peróxido de Hidrógeno.

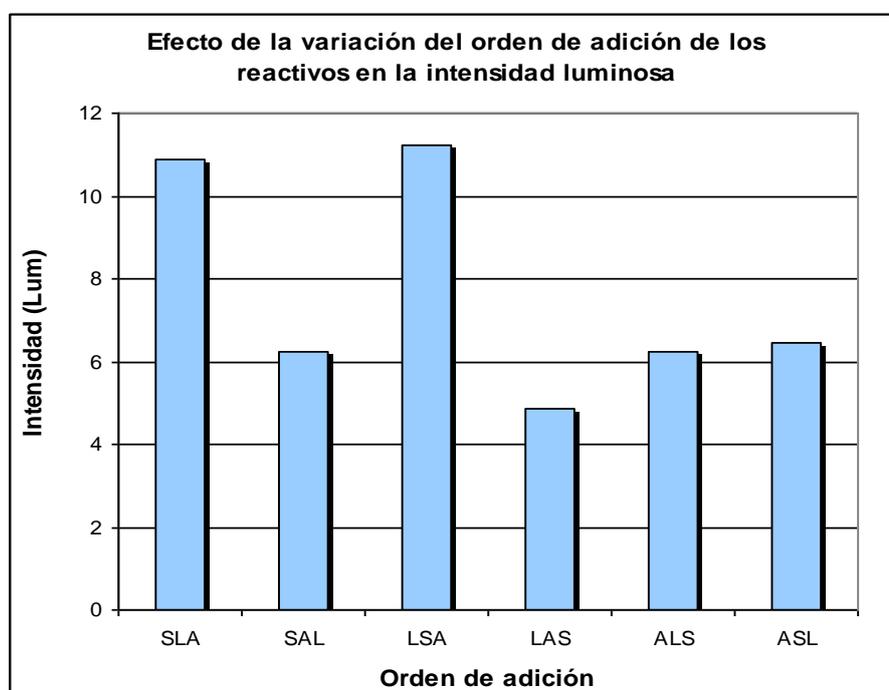


Gráfica 18. Influencia de la variación del volumen total de la reacción en el tiempo de duración de la misma. La proporción corresponde a 1: Luminol 1: Sulfato de Cobre 2: Peróxido de Hidrógeno.

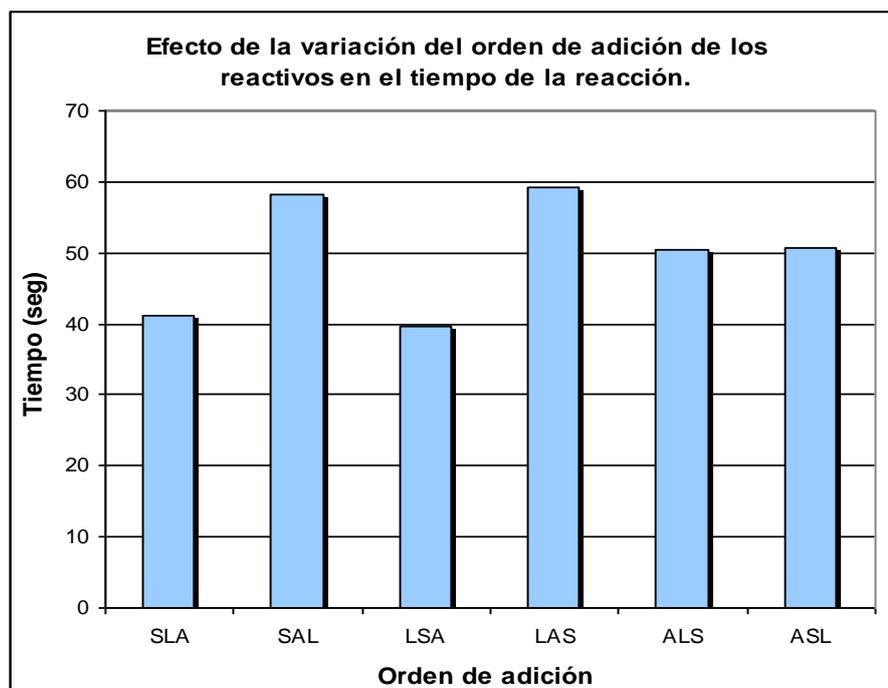
Este comportamiento se puede entender ya que aunque se está usando una cantidad total mayor de reactivos la cantidad de sustancias que reaccionan por unidad de volumen es la misma. También es importante mencionar que el detector de luz realiza la medición en un área determinada por lo que la intensidad que percibe es la misma siempre que la concentración de los reactivos se mantenga.

#### 6.4 Efecto de la variación del orden de adición de los reactivos en la duración e intensidad de la luz emitida por la reacción

Analizando las gráficas 19 y 20, se puede llegar a la conclusión de que el orden de adición de los reactivos sí es importante. Así, cuando trabajan esta propuesta los alumnos concluyen que es posible modular el tiempo de duración y la intensidad de la luz manipulando el orden en que mezclan los reactivos. Podemos ver que al adicionar los reactivos en el orden luminol, sulfato de cobre y agua oxigenada se obtiene la reacción con mayor intensidad luminosa y sin embargo es la que menos dura. Caso contrario ocurre con el orden luminol, agua oxigenada y sulfato de cobre, que es la menos intensa y la que más dura.



Gráfica 19. Efecto de la variación del orden de adición de los reactivos en la intensidad de luz emitida por la reacción. S. Sulfato de cobre L. Luminol A. Peróxido de hidrógeno.



Gráfica 20. Efecto de la variación del orden de adición de los reactivos en el tiempo de duración de la reacción. S. Sulfato de cobre L. Luminol A. Peróxido de hidrógeno.

Cuando los alumnos realizan estos experimentos generalmente notan que la reacción más duradera es la menos intensa y, por el contrario, la más intensa es la menos duradera, ésto los motiva a proponer una explicación. Así, suponiendo que en todos los casos la reacción libera la misma cantidad de energía, frecuentemente se llega a la propuesta de que si esa energía se emite de forma simultánea la intensidad observada será mayor pero la emisión será breve, mientras que al liberar la energía (luz) poco a poco se obtiene una intensidad luminosa baja pero duradera. Esto es importante debido a que los alumnos empiezan a ver el conocimiento que van adquiriendo del sistema (reacción) como algo que se puede integrar con los demás descubrimientos y de esta forma complementar su experiencia sobre la reacción.

### 6.5 Cambio de color de la luz emitida por la reacción quimiluminiscente.

Esta pregunta es relevante pues el color de la luz es uno de los atractivos de la reacción, y por lo tanto la inquietud de los estudiantes por cambiarlo los lleva al diseño de toda una investigación. Esta pregunta de alguna forma es favorecida al inicio de la sesión pues se comenta que el sulfato de cobre es un compuesto cristalino de color azul muy intenso. A partir de esta información los alumnos

generalmente atribuyen el color de la luz emitida (azul) a la presencia del sulfato de cobre y proponen emplear una sustancia alternativa que sea de un color distinto y que sustituya al sulfato de cobre. Aunque su conocimiento sobre los nombres o las propiedades de las sustancias es limitado frecuentemente proponen el uso de sustancias con otros metales o bien otros sulfatos. Es así que se les proporcionan disoluciones de sales como nitrato de cobalto, cloruro de níquel, sulfato de magnesio, permanganato de potasio, cloruro y sulfato de hierro. En este caso sólo se les hace hincapié en que su única variable es la disolución de sulfato de cobre por lo que los demás parámetros deben mantenerse constantes.

En este tipo de investigación los resultados no se pueden presentar en una gráfica, por lo que los alumnos reportan lo que obtuvieron en una tabla como la siguiente:

Sal	Color de la sal	Desprendimiento de luz	Color de la luz
CuSO <sub>4</sub> (control)	Azul	Si	Azul
KMnO <sub>4</sub> *	Morado intenso	Si	Azul
CoCl <sub>2</sub>	Rosa	Si	Azul
NiCl <sub>2</sub>	Verde	Si	Azul
FeCl <sub>3</sub>	Amarilla	No	-
FeSO <sub>4</sub>	Azul-verde	No	-

Tabla 4. Sales de diferentes colores que presentan reacción con el luminol. \* Hay desprendimiento de luz antes de agregar el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

La discusión de estos resultados es interesante ya que el hecho de rechazar una hipótesis prometedoras en principio parece un fracaso, se discute y se hace ver a los estudiantes que a partir de ello se tiene un importante aprendizaje sobre el sistema: el color de la luz es independiente del color de la sal empleada.

Una vez que los alumnos descubren que no pueden cambiar el color de la luz sustituyendo el sulfato de cobre por otras sales de diferente color empiezan a pensar de qué otro modo pueden lograr su objetivo. Entonces, frecuentemente proponen emplear pintura, es así que se les proporcionan diferentes tipos: vegetal, acrílica, acrílica fluorescente y tinta de plumón marca-textos.

Los estudiantes se sorprenden al ver que no con cualquier pintura se puede obtener luz de diferente color al azul, de hecho, sólo con la tinta de plumón marca-texto y la pintura acrílica fluorescente se obtiene luz de diferente color con una intensidad adecuada. Este resultado se expone en la parte final de la sesión y en ocasiones se aprovecha para explicar los conceptos de fluorescencia, fosforescencia y quimiluminiscencia. (Anexo 4)

¿Qué pasaría si cambiamos el sulfato de cobre por sales de otros colores?

El color de las sales no afecta la luz desprendida por la reacción.

¿Qué pasaría si agregamos colorante a la reacción?

El color de la luz cambió en la reacción debido al colorante pero se apreciaba mejor con uno fluorescente que con uno acrílico.



Figura 4. Acetato realizado por alumnos en la segunda etapa y representa el cambio de color de la luminiscencia.

# IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ERROR EN LA EXPERIMENTACIÓN

## 7. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ERROR EN LA EXPERIMENTACIÓN.

Se reprodujeron los experimentos que los alumnos realizan en su estancia en el laboratorio de química con la finalidad de identificar fuentes de error que los conduzcan a resultados incorrectos. Cabe señalar que estos errores son comunes en todos los experimentos que realizan, ya sea variación de los volúmenes de cualquiera de los reactivos, de la temperatura, del orden y variación del volumen total de reacción.

Uno de los problemas principales que los alumnos enfrentan es, sin duda, la medición de los volúmenes ya que tienen que trabajar con volúmenes relativamente pequeños. En una sesión a cada equipo se le proporcionan 10mL de luminol, 10mL de sulfato de cobre y 20mL de agua oxigenada, cantidades que deben administrar para realizar varias pruebas. Es así que se les propone trabajar con pequeñas cantidades haciendo la aclaración de que el científico trabaja incluso a veces, con cantidades menores de sustancia. Para facilitar su trabajo con estos volúmenes se les proporcionan micropipetas, y pipetas beral. El problema radica en que los alumnos no tienen experiencia con el material de laboratorio por lo que se les complica el manejo de instrumentos de precisión como éstos. La experiencia con los alumnos ha mostrado que uno de los errores que cometen es que al medir el volumen con la micropipeta dejan entrar burbujas de aire lo que lleva a que hagan mediciones incorrectas.

Este problema los puede llevar a la frustración pues ante la obtención de resultados confusos los alumnos no reconocen la posibilidad de una mala operación del equipo, sino que argumentan que el sistema *no se comporta como debería*.

Por ejemplo en el siguiente acetato se muestran los resultados de los experimentos realizados por un equipo de estudiantes en *Experimenta*:

= ¿Cómo le hago para que brille más intensamente? =

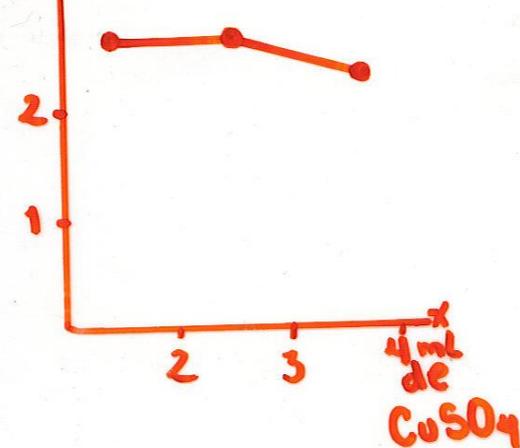
Hipotesis:

- Poner más cantidad de luminol.
- Agregar más Sulfato de Cobre. ( $\text{CuSO}_4$ )
- Agregar más agua oxigenada. ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )

y (intensidad).



y (intensidad)



y (intensidad).

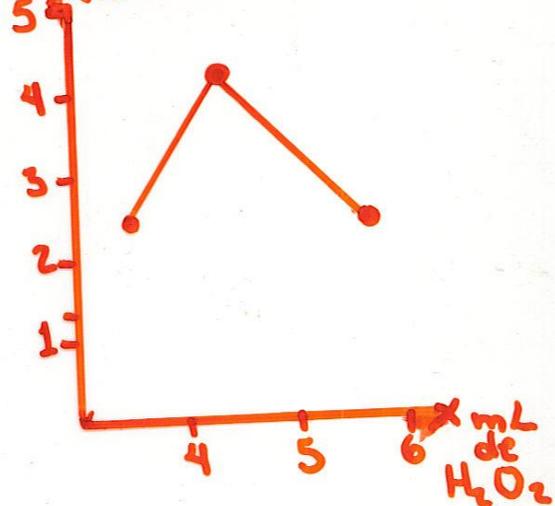


Fig. 5. Acetato realizado por alumnos el cual muestra errores cometidos comúnmente.

En éste acetato resulta imposible distinguir una tendencia entre las cantidades de los reactivos y la intensidad de la luz emitida por la reacción.

En casos como éste, donde no se aprecia una tendencia clara, se promueve la discusión para que señalen los problemas o errores experimentales. Generalmente en esta situación se concluye que habría que repetir las pruebas y obtener más puntos para confirmar los resultados.

Otro problema se presenta cuando los alumnos operan el equipo de medición de luz de forma inadecuada, pues colocan inclinada la celda o inician el muestreo una vez que la reacción ya se está llevando a cabo, es decir después de que se ha emitido la máxima intensidad.

Cuando los alumnos discuten e identifican las posibles fuentes de error entienden que al realizar un experimento es necesario prestar atención a los detalles y trabajar con precisión. Obviamente ya no hay tiempo para repetir las pruebas pero al menos los alumnos se dan cuenta de que están propensos a cometer errores y que puede no percatarse de ellos conduciéndolos a la obtención de resultados equivocados. Otro de los puntos en los que se hace énfasis es que para el estudio de cada variable es bueno contar con al menos 4 puntos, de tal forma que se puede identificar de una manera más fácil si es que ha habido error en alguna de las mediciones. En el acetato anterior se observa que para las gráficas de luminol y agua oxigenada no hay puntos suficientes por lo que no se obtiene información confiable ni una tendencia clara.

El llegar a un análisis más completo e identificar una fuente de error representa un gran avance en el pensamiento científico de los alumnos y su estancia en los siguientes laboratorios de *Experimenta* puede llegar a ser más fructífera pues realizarán experimentos y análisis de los resultados más complejos.

Como se discutió antes, es recomendable preparar disoluciones de los tres reactivos con diferentes concentraciones a fin de evitar el error por dilución al variar los volúmenes, o incluso se podría experimentar de las dos formas, variando el volumen y por otro lado la concentración con el objetivo de comparar resultados y que los mismos alumnos sean los que concluirán si existe diferencia.

En resumen, la reproducción de las actividades experimentales que realizan los alumnos permitió identificar que los experimentos más susceptibles a errores experimentales son los relacionados con las cantidades de los reactivos, no así en los que se varía la temperatura, el color o el orden de la reacción.

**ADECUACIONES  
PROPUESTAS AL  
FORMATO ORIGINAL**

## 8. ADECUACIONES PROPUESTAS AL FORMATO ORIGINAL.

### 8.1 Resultado de la aplicación de las adecuaciones.

La forma en que se trabaja actualmente en el laboratorio de química del proyecto *Experimenta* incluye varias adecuaciones que se realizaron durante la segunda etapa, después de identificar los aciertos y errores como producto de este trabajo. En esta etapa la introducción de la sesión no abarca aspectos puramente químicos sino de la vida diaria, además se aborda el tema del quehacer de los científicos y las motivaciones que los llevan a realizar investigaciones y experimentos. Esto se lleva a cabo sin el uso de lenguaje científico, utilizando términos que sean amigables para los alumnos y en todo momento promoviendo que expongan sus ideas previas, ya que la experiencia de los alumnos va a influir de manera fundamental en su aprendizaje, después de todo “El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto, y enséñese en consecuencia” (Ausbel, 1993). La duración de esta introducción varía recomendándose un tiempo máximo de 30 minutos.

En esta parte se les da una explicación de la forma en que trabajan los científicos mediante el uso de ejemplos atractivos. Entre las propuestas se describe el caso supuesto de que se ha recibido un animal, totalmente desconocido para el humano y se les anima a diseñar las pruebas que podrían hacer para conocer algo sobre la extraña especie. Mediante una lluvia de ideas con los estudiantes se decide qué pruebas y cómo podrían hacerse con el propósito de introducir al grupo en las características del pensamiento y por lo tanto del trabajo científico. Una de las aportaciones del ejemplo es que con él se puede introducir el concepto de variable independiente y variable dependiente, además de que se aclara que durante un experimento solamente se puede modificar una variable y observar cómo se modifican o no, las dependientes.

La formación de equipos de mínimo 2 alumnos y máximo 3, es fundamental para llevar a cabo una sesión ordenada en donde todos los integrantes de los equipos trabajen. Así se evitan distracciones que pueden causar accidentes por descuido o pueden llevar a errores en la experimentación, por ejemplo que se altere más de

una variable independiente aún cuando en la explicación se les hace hincapié en que solamente se debe modificar una.

El control en el número de integrantes de los equipos, además de tener un impacto en la experimentación y los resultados, también influye en la actitud de los estudiantes hacia la propuesta, pues el hecho de estarlos presionando para que regresen a su lugar de trabajo provoca que se sientan más obligados que interesados en la actividad. Por lo anterior es importante desde el principio de la sesión establecer equipos pequeños y asegurar que cada uno de los integrantes cuente con una tarea determinada para así darle una responsabilidad que sin duda lo mantendrá ocupado e interesado propiciando que trabaje. Cabe señalar la importancia de manejar, siempre y cuando sea posible, un número de equipos no mayor a 6 pues de lo contrario cada etapa de la sesión se prolongaría más y sería agotador para los asistentes.

Con el propósito de facilitar a los alumnos tanto el diseño de sus experimentos como la identificación de las variables independientes y dependientes del experimento de acuerdo con su hipótesis, se diseñó una tabla en la cual los alumnos, identifican las variables del experimento y de forma general aclaran las actividades que quieren realizar, sin que esto les acote el camino o influya en el diseño de sus procedimientos.

¿Qué voy a modificar? (sólo una cosa):	¿Qué voy a medir? (En qué me voy a fijar):	¿Con qué instrumento lo voy a medir?	Número de experimentos que voy a hacer:
Experimento	Resultado (con unidades)	Observaciones	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
¿Qué aprendí con este experimento?:			

Fig. 6. Cuadro utilizado durante la segunda etapa del proyecto.

A partir de los resultados obtenidos de este trabajo, se sugiere poner atención especial en el trabajo que realizan los equipos que deciden trabajar variando la cantidad de los reactivos, esto con el fin de evitar en la medida de lo posible que dos equipos que trabajaron en principio bien obtengan resultados contradictorios realizando la misma investigación. En esta parte el trabajo de los asesores es muy importante pues no deben descuidar a los equipos apoyándolos en todo momento durante su experimento. Es así, que se debe contar con soluciones de cada reactivo a diferentes concentraciones, con ello se puede acercar a los alumnos un poco al concepto de concentración discutir los resultados y comparándolos con un equipo que haya decidido variar las cantidades.

Respecto a la elaboración del acetato final, se debe asegurar que las indicaciones sean claras de tal manera que lleve solamente la información necesaria de una forma ordenada, concreta y resumida, empleando como herramientas gráficas, tablas o lo que los estudiantes consideren necesario para respaldar sus resultados. De esta manera se ahorra tiempo, se coordinan los equipos para que terminen al mismo tiempo su acetato lo que favorece que en la discusión todos se encuentren atentos, sin distracciones y más participativos. En su acetato los estudiantes incluyen la siguiente información:

1. Pregunta a responder.
2. Hipótesis a probar.
3. Resultados de la experimentación.
4. Respaldo de los resultados (Gráficas o tablas).

En la parte final de la sesión, en las situaciones en que se tienen más de cinco equipos o cuando varios equipos han terminado antes que el resto se propuso dividir el grupo y llevar a cabo la discusión de forma independiente en dos extremos del laboratorio. Esta medida fue útil ya que con ello se evita prolongar innecesariamente la parte final, cuando generalmente los alumnos ya están cansados, obteniéndose discusiones más personalizadas, enriquecedoras y más ligeras para los alumnos.

Como resultado a estas adecuaciones, los alumnos trabajan de una manera más participativa ya que se sienten con más confianza pues los ejemplos que se manejan son más amigables que los que se usaban en la primera etapa por el hecho de ser cotidianos. De esta manera se logra una sesión más dinámica, interesante, divertida y por supuesto menos agotadora por su duración. Con esto los alumnos se disponen a trabajar con un mayor entusiasmo, lo cual se ve reflejado al momento de la generación de preguntas.

Con estas adecuaciones al taller se han observado tanto actitudes más positivas en los alumnos como mejores resultados experimentales.

A continuación se presentan algunos de los acetatos que los alumnos elaboran para presentar a sus compañeros al final de la sesión, en ellos se puede identificar un cierto orden, la información resumida y concreta así como el empleo de gráficas o tablas para respaldar sus resultados.

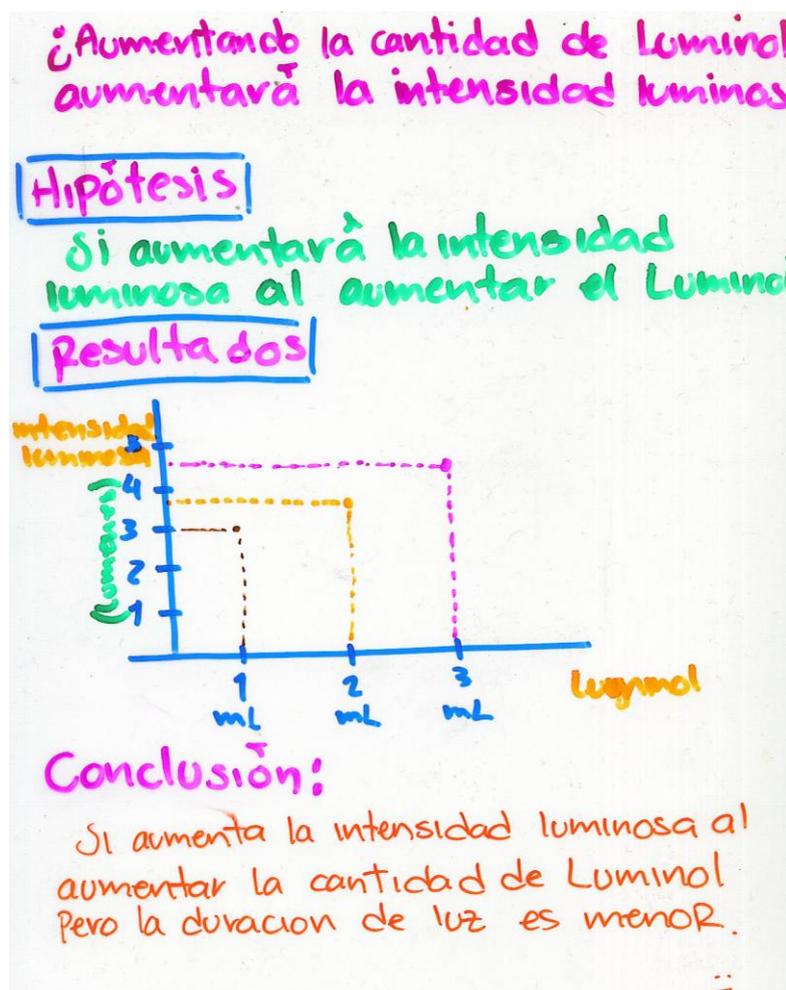


Figura 7. Acetato hecho por alumnos que asistieron al laboratorio donde se observa la variación de luminol.

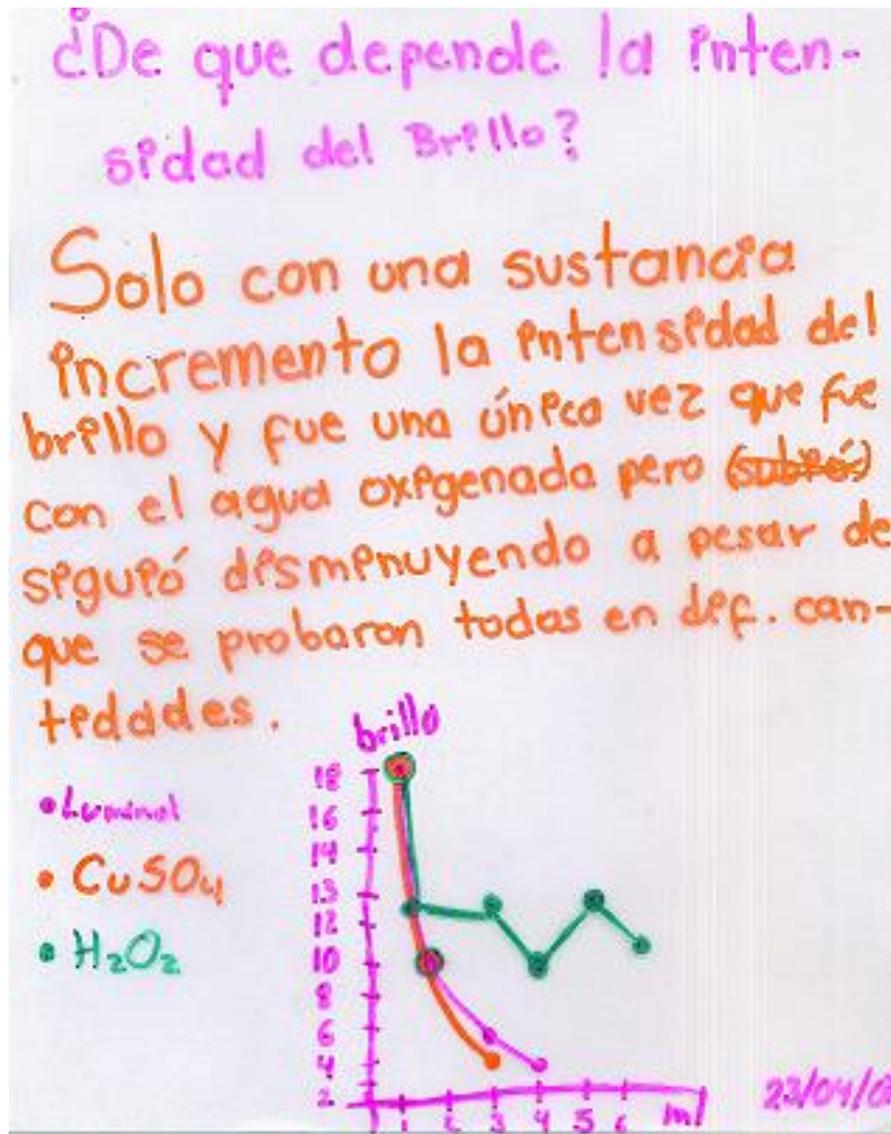


Figura 8. Acetato hecho por alumnos que asistieron al laboratorio donde se observa la variación de los tres reactivos.

## 8.2 Aplicación de la tabla en el diseño del experimento.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos al aplicar la tabla propuesta; en los tres ejemplos que se muestran a continuación se puede apreciar su utilidad como guía en la planeación de los experimentos sin que con ello se les acote el camino o se limite sus investigaciones, pues los apartados son generales y sólo sirven para aclarar tanto el uso de las variables como los parámetros fijos. Además resulta útil para promover que desde el inicio los estudiantes planeen cuántas pruebas van a realizar, que administren los reactivos e identifiquen las variables.

Pregunta: ¿Cómo hacer para que la luz brille más?		Turno Grupo M 305	Horario de Exp 2:00-6:00	Fecha 29 Septiembre
Hipótesis: Si cambiamos la cantidad de luminol la intensidad de luz puede variar.				
¿Qué voy a modificar? (sólo una cosa): la cantidad de luminol	¿Qué voy a medir? (En qué me voy a fijar): Intensidad de luz	¿Con qué instrumento lo voy a medir? Jeringa.	Parámetros fijos. Sulfato de cobre 1 ml. Agua oxigenada 2 ml.	No. de experimentos que voy a hacer: 4
Experimento	Resultado (con unidades)	Observaciones		
1	1 ml de luminol	Lum 8.3		
2	2 ml de luminol	Lum 2.3		
3	3 ml de luminol	1.3 Lum		
4	4 ml de luminol	1.0 lum.		
5				
6				
¿Qué aprendí con este experimento? Entre más luminol se utiliza, disminuye la intensidad de la luz.				

Tabla 5. Efecto de la cantidad de luminol en la intensidad de la luz emitida.

Pregunta: Como afecta el luminol al tiempo		Turno Grupo MATUTINO 305 'A'	Horario de Exp 9:00 a 1:00	Fecha 30-Sep-2008
Hipótesis: Agregando más luminol <del>entre</del> el tiempo de iluminación será mayor.				
¿Qué voy a modificar? (sólo una cosa): la cantidad de luminol	¿Qué voy a medir? El tiempo que dura la reacción (En qué me voy a fijar):	¿Con qué instrumento lo voy a medir? Cronometro	Parámetros fijos. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 2 ml Cu SO <sub>4</sub> 1 ml observadores Orden	No. de experimentos que voy a hacer: 4
Experimento	Resultado (con unidades)	Observaciones		
1	1 ml	4 min 58 seg		
2	2 ml	9 minutos 30 segundos		
3	3 ml	18 minutos 55 segundos		
4	4 ml	30 minutos 31 segundos		
5				
6				
¿Qué aprendí con este experimento? Que al agregar más luminol el tiempo que dura la reacción es mayor.				

Tabla 6. Efecto de la cantidad de luminol en el tiempo de duración de la reacción.

Pregunta: ¿Cómo afecta el orden a la intensidad luminosa?		Turno Grupo Matutino	Horario de Exp 9 a 1:00	Fecha 30/09/08
Hipótesis: Que no hubiera luminosidad. Qué aumentara o disminuirá la luminosidad.				
¿Qué voy a modificar? (sólo una cosa): El orden de las sustancias	¿Qué voy a medir? (En qué me voy a fijar): la intensidad luminosa	¿Con qué instrumento lo voy a medir? Analizador de datos	Parámetros fijos. La cantidad de las sustancias	No. de experimentos que voy a hacer:
Experimento	Resultado (con unidades)	Observaciones		
1 S, L, A	6.33 lumenes	Entre mas sulfato brilla más		
2 L, S, A	6.3 lumens	Azul la combinación		
3 A, L, S	2.6 lumens.	No cambio de color al combinar las 2 primeras sust. Dura mas tiempo. Azul fuerte.		
4 A, S, L	2.6 lumens.	No cambio de color, la 1 combinación Dura mas.		
5 L, A, S	2.6 lumens.	No cambio de color. " "		
6 S, A, L	2.6 lumens.	No cambio de color. " "		
¿Qué aprendí con este experimento? Que <del>so</del> todos tienen luminosidad solo varia la intensidad				

Tabla 7. Efecto del orden de adición de las sustancias en la intensidad de la luz emitida.

El hecho de que los alumnos tengan claro lo que van a hacer desde el inicio les ayuda a llevar un mejor control del experimento, identificar errores e incluso la obtención de resultados más confiables.

Como se muestra en las tablas resueltas por los alumnos, la claridad que alcanzan previa al experimento es fundamental para el éxito del mismo, cabe aclarar que lo que se considera éxito dentro del taller no es el obtener el resultado correcto sino realizar una buena investigación teniendo cuidado al manejar las variables e interpretar de manera adecuada los datos obtenidos.

Por ejemplo en la tabla 1 para la pregunta “¿Cómo hacer para que la luz brille más?”, los alumnos tienen claro por dónde desean comenzar y lo reflejan planteando su hipótesis “Si cambiamos la cantidad de luminol la intensidad de la luz puede variar”. Al concluir con estos dos apartados los alumnos ya saben qué buscan y por dónde pueden empezar o qué variable van a modificar. Así llenaron los demás apartados reconociendo lo que van a modificar aclarando que sólo puede ser una cosa (variable independiente), “cantidad de luminol”, lo que van a medir (variable dependiente) “intensidad de la luz”, cuales serán los parámetros

fijos “Las cantidades de las otras sus sustancias” y el número de experimentos que creen serán suficientes para responder a su investigación los cuales desglosan en la parte de abajo. Como resultado se obtiene una tendencia clara que les permite llegar a una conclusión que nosotros le llamamos ¿Qué aprendí con este experimento? en este caso que *“Entre más luminol se utilice disminuye la intensidad de la luz”*.

Resulta interesante destacar que aunque los alumnos obtuvieron una respuesta, ésta no coincidió con la hipótesis planteada ya que al aumentar la cantidad de luminol encuentran que la intensidad de la luz disminuye. Al respecto es importante discutir con los estudiantes sobre la información y el aprendizaje que se puede obtener sobre un sistema aún cuando la hipótesis que se plantea tenga que ser rechazada. En este caso es claro que los alumnos trabajaron con disciplina lo que les permitió tener control sobre las variables y llegar a un buen resultado independientemente que no fuera lo que esperaban. Todo esto se trata en la discusión y los equipos se animan al saber que realizaron un buen trabajo científico haciéndoles ver que tanto el pensamiento como la actividad científica están a su alcance y no es para algún tipo selecto de personas por lo que ellos lo pueden hacer derribando un prejuicio que lleva a los estudiantes a rechazar la ciencia logrando en la mayoría de los casos que los alumnos se convenzan de que sí pueden hacer ciencia.

### 8.3 Aportaciones del trabajo de tesis para cada etapa de la sesión.

A continuación se presenta, de manera resumida, una tabla con los objetivos particulares en cada etapa de la sesión del laboratorio de química del proyecto *Experimenta*, así como los aprendizajes que se espera los alumnos vayan adquiriendo conforme se avanza en el taller. La última columna incluye las aportaciones que éste trabajo de tesis ha hecho en cada parte de la sesión.

Objetivos particulares	Aprendizajes	Propuestas del trabajo de tesis
1. Observar el fenómeno que se va a estudiar, en este caso la reacción quimiluminiscente de la oxidación del luminol.	Actitudes: Disposición a poner atención al entorno. Habilidad: Observar de manera crítica un determinado fenómeno o suceso. Conceptos: Sustancia, Reacción de quimiluminiscencia	Se propone evitar la explicación detallada del fenómeno así como la química de la reacción y centrar la atención de los alumnos sobre la posibilidad de observar el fenómeno con <i>los ojos de un científico</i> que con base en los conocimientos que posee es capaz de plantear preguntas o reconocer problemas y plantear hipótesis al respecto.
2. Planteamiento de la pregunta de investigación.	Habilidad: Delimitar un problema de estudio, medir. Percepción general (idea) acerca de las posibilidades que presenta la reacción a modificarse.	El no mostrar el medidor de intensidad luminosa al inicio de la demostración, de esta forma no se sesgan las preguntas o se ven limitadas por el aparato.
3. Diseño del experimento.	Habilidad: Reconocer las variables que hay que controlar-modificar.	El cuadro que los alumnos emplean al momento de diseñar su investigación en el cual se definen variable independiente, dependiente y los parámetros fijos. Con ello los alumnos empiezan a trabajar con una mayor claridad
4. Realización del experimento.	Procedimientos o habilidades: Identificar variables, medirlas, utilizar el equipo necesario, trabajar en equipo.	La formación de equipos de 2 ó 3 personas y encomendar a cada integrante una actividad específica para que todos se involucren en la investigación. Tener especial atención en la medición de volúmenes que hacen los alumnos. Promover la toma de un número de pruebas suficiente.
5. Análisis de resultados por equipos.	Procedimientos o habilidades: Ordenar los datos en tablas, graficar.	El tener claramente identificadas las variables, producto del cuadro que llenan al inicio de la investigación, los lleva a una mejor interpretación y análisis de los resultados.

6. Presentación y análisis de los resultados con todo el grupo.	Habilidades: Comunicación de resultados. Actitudes: Dar importancia al trabajo del otro, escuchando con atención y siendo crítico con los resultados.	El fragmentar el grupo en dos para llevar a cabo las discusiones por separado permite un análisis más personal y enriquecedor pues se procura contar siempre con preguntas diferentes en cada mitad.
7. Trabajar con método y orden.	Actitudes: Importancia de trabajar siguiendo un método y respetando las medidas de seguridad establecidas en el laboratorio	El cuadro sirve también en este rubro pues los alumnos especifican la variable a modificar, de qué maneja la van a modificar, qué van a medir y cuántos experimentos van a realizar, esto les da claridad y por tanto orden en su trabajo pues, en todo momento, saben lo que están haciendo.

Tabla 7. Aportaciones del trabajo de tesis para cada etapa de la sesión dentro en el laboratorio de química

# PRIMERAS PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

## 9. PRIMERAS PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA.

### 9.1 Evaluación de actividades experimentales

Los procesos de evaluación se encuentran dentro de un modelo de enseñanza y de las oportunidades de aprendizaje que éste ofrece. Con base en esto las propuestas de evaluación sobre actividades experimentales generalmente se enfocan en los siguientes aspectos:

1. El trabajo se plantea para encontrar posibles respuestas a una pregunta concreta o a un problema determinado.
2. Los alumnos realizan de forma directa la exploración y la manipulación necesarias para resolver la pregunta planteada.
3. Los alumnos utilizan procesos intelectuales de distintos niveles, según la forma en que se plantean las actividades, desde seguir simplemente unas instrucciones hasta diseñar procesos experimentales.

Este último punto es el que enmarca la propuesta de trabajo en *Experimenta* y el trabajo de evaluación debe ser congruente con este supuesto. Cada uno de los laboratorios toma en cuenta que el trabajo práctico es especialmente adecuado para desarrollar habilidades motoras (manejo de instrumentos, experimentación, medida, etc.) e intelectuales (pensamiento crítico, análisis, síntesis, diseño experimental, aplicación, toma de decisiones, etc.), pero también considera que es un sitio excelente para propiciar el desarrollo de habilidades de resolución de problemas, de investigación, de organización y de comunicación (debates, informes, símbolos, etc.).

Es así que para identificar y cuantificar los aprendizajes de los alumnos en *Experimenta* es necesario centrar la evaluación precisamente en los conocimientos procedimentales propios del trabajo científico como son: formular preguntas e hipótesis, identificar y controlar variables, graficar, etcétera y no en los conocimientos conceptuales de cada disciplina, ya que por ser ésta una propuesta de educación no formal, se sabe que no propicia la construcción de los mismos.

Una vez que se han identificado los aprendizajes esperados es necesario elaborar una herramienta adecuada que permita describir el nivel de adquisición de dichos aprendizajes. Sin embargo, la diversidad de aprendizajes que ofrece el trabajo práctico hace imposible que exista una única técnica que reúna las características de validez, confiabilidad, objetividad y funcionalidad. Su evaluación requiere de la utilización de diversos instrumentos: observación directa del trabajo práctico, pruebas escritas, entrevistas, entre otros. Además es necesario tomar en cuenta que los instrumentos deben ser ágiles, es decir, que no sean demasiado complicados de aplicar o difíciles de interpretar.

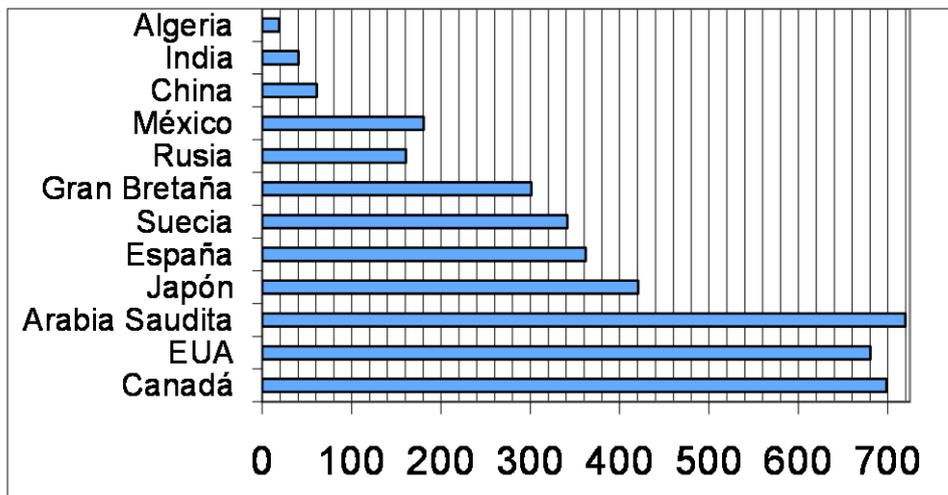
Para la evaluación del trabajo en los laboratorios de *Experimenta* se han propuesto diferentes herramientas, básicamente cuestionarios de opción múltiple y preguntas abiertas. A continuación se presentan algunos de los ejercicios que se han empleado en un cuestionario de entrada y uno de salida (Irazoque, 2007). Las situaciones problemáticas que se le presentan al alumno intentan identificar si éste sabe reconocer cuáles son las variables dependientes e independientes en un determinado experimento o si sabe interpretar una gráfica e inferir información de ella.

(La respuesta correcta está subrayada)

## **UN MUNDO DESIGUAL**

La diferencia que existe en la actualidad entre los países ricos y pobres es única en la historia de la humanidad. Más de la mitad de la población mundial tiene un nivel de vida muy similar a la de los seres humanos de la prehistoria, mientras que menos de una quinta parte de los habitantes del planeta viven en la opulencia. Esto se refleja al analizar la distribución del consumo de los recursos energéticos en diferentes países del mundo.

En la gráfica siguiente se presenta el consumo de energía por habitante (consumo per cápita) en algunos países:



**Gráfica 1. Consumo de energía per cápita en su equivalente en barriles de petróleo.**

Con base en la información de la gráfica contesta las siguientes preguntas:

- ¿Qué país tiene un consumo de energía per cápita dos veces mayor que el de México?
  - Gran Bretaña
  - España
  - Suecia
  - Japón
- ¿Cuántas veces mayor es el consumo de energía per cápita del país que más consume respecto al consumo de México?
  - 7 veces mayor
  - 5 veces mayor
  - 4 veces mayor
  - 2 veces mayor
- ¿Cuántas veces menor es el consumo de energía per cápita del país menos consumidor respecto al consumo de México?
  - 2 veces menor
  - 6 veces menor
  - 9 veces menor
  - 11 veces menor

Los objetivos de las preguntas de opción múltiple que se han incluido en los cuestionarios para evaluar la propuesta son:

Que el alumno

1. Evalúe la toma de decisiones con base en el análisis de probabilidades.
2. Evalúe el análisis de datos con base en la información.
3. Evalúe el control de variables al realizar un experimento.
4. Evalúe el reconocimiento de las habilidades de pensamiento necesarias para la resolución de problemas.

La siguiente pregunta ejemplifica este tipo de reactivos:

- Cuatro amigos almuerzan en la cafetería y dos días después tres de ellos enferman. Los alimentos que consumieron son:

	<b>Luis</b>	<b>Arturo</b>	<b>José</b>	<b>Miguel</b>
<b>Plato fuerte</b>	Pechuga empanizada	Sincronizada de jamón con huevo	Tostadas de pollo	Empanadas de pollo
<b>Bebida</b>	Agua de tamarindo	Agua de jamaica	Agua de jamaica	Agua de tamarindo
<b>Postre</b>	Gelatina de leche	Flan	Gelatina de leche	Flan

¿Quiénes enfermaron?

- a) Arturo, Luis, José
- b) Luis, José, Miguel
- c) Arturo, José, Miguel
- d) Arturo, Luis, Miguel

Dichos instrumentos se han probado con algunos de los alumnos asistentes sin embargo, los resultados no han sido del todo satisfactorios. Tanto el análisis de las respuestas de los alumnos como las discusiones que se han tenido con los colaboradores de *Experimenta* en las diferentes áreas, conducen a la conclusión de que los instrumentos propuestos no reflejan claramente la adquisición de los

aprendizajes esperados de acuerdo a los objetivos del proyecto. Por lo anterior actualmente se planea la conformación de un equipo de trabajo para el diseño de una herramienta acorde a los objetivos del proyecto.

# CONCLUSIONES

## 10. CONCLUSIONES.

El análisis de la estrategia didáctica empleada en el laboratorio de química del proyecto *Experimenta* permitió identificar aciertos así como errores en la propuesta. Lo anterior tuvo como resultado una serie de adecuaciones en cada una de las etapas que llevan a cabo los estudiantes en este laboratorio.

Así, el planteamiento inicial de la propuesta que originalmente estaba enfocado en la generación de emisiones luminosas fue sustituido por una plática referente a la ciencia, sus procedimientos y su relevancia en la vida diaria. El resultado de esta modificación tuvo un impacto importante, ya que al final de la sesión, los estudiantes son capaces de identificar entre las actividades que realizaron los procedimientos que son característicos del quehacer científico. También se favorece que reconozcan las variables independientes y dependientes en los experimentos que realizan por lo que en general sus resultados ofrecen información útil sobre el sistema.

Entre las adecuaciones que se probaron a partir de los resultados de este trabajo, también destaca la eliminación de la presentación del medidor de luz que se hacía en la versión original de la propuesta. El reconocimiento de este factor como una limitante en la variedad de preguntas generadas es importante ya que al eliminarse los alumnos se sienten con la libertad de proponer cualquier metodología y por lo tanto todo tipo de material. Al respecto la experiencia en este trabajo indica que generalmente esto no representa problemas ya que los estudiantes se limitan a sugerir material de laboratorio sencillo que han usado en sus clases o incluso material casero que generalmente se puede tener disponible.

Así mismo el análisis permitió reconocer que la colaboración de profesores y estudiantes de niveles superiores capacitados para trabajar con estudiantes de bachillerato y dispuestos para abordar situaciones inesperadas en el trabajo experimental, es fundamental para dirigir el taller de química de una manera adecuada y por lo tanto alcanzar el objetivo propuesto en el proyecto *Experimenta: que los alumnos hagan ciencia*. Además destacó la importancia de que cada uno de los participantes reconozca que su función en esta propuesta debe ser orientar, resolver dudas e incluso apoyar en un eventual rediseño del

experimento, pero nunca imponer metodologías de trabajo. De este modo los alumnos, al final de la sesión, deben sentirse identificados plenamente con su investigación y deben ser capaces de argumentar la validez de los resultados que obtengan.

Sobre la organización del trabajo de los estudiantes en el laboratorio es importante mencionar que quizás más que en otro tipo de actividades experimentales en ésta es fundamental que los equipos de trabajo sean pequeños, dos o tres estudiantes, ya que de esta manera se garantiza que todos los alumnos estarán participando de manera activa en la búsqueda de la respuesta a su pregunta.

Sobre la aplicación de habilidades que, de acuerdo con los programas curriculares, los alumnos deberían tener en este nivel escolar destaca la dificultad que muestran para identificar y controlar las variables en sus experimentos. Así mismo entre las observaciones realizadas en este trabajo destacan los problemas que enfrentan al tratar de presentar sus resultados mediante la construcción de gráficas. Al respecto, el empleo del cuadro propuesto para facilitar el trabajo experimental de los estudiantes resultó un éxito, ya que les permite trabajar de una manera más ordenada ya que en él distinguen las variables a modificar así como los parámetros fijos. Con esto los alumnos tienen una idea clara de lo que van a hacer, definen los roles que tomarán cada uno de los integrantes del equipo lo que vuelve el trabajo experimental más eficiente y por lo tanto se reduce el tiempo de experimentación. Esto es muy importante ya que permite repetir pruebas en caso de ser necesario, modificar el experimento en busca de la respuesta deseada o cambiar de pregunta y extender su investigación.

La reproducción del trabajo experimental que realizan los alumnos en esta investigación de tesis hizo posible reconocer la importancia del efecto de dilución, particularmente cuando la variable independiente es la cantidad de luminol. Al respecto es recomendable que cuando los alumnos decidan alterar las cantidades de los reactivos, esto sea por medio de la variación de la concentración pues al cambiar los volúmenes se están alterando las concentraciones de los demás reactivos lo cual implica la alteración de dos variables más que lleva a la obtención de tendencias erróneas.

Cabe aclarar que aunque nuestro objetivo no es que los alumnos aprendan conceptos consideramos importante que se lleven los resultados correctos acerca del comportamiento del sistema, por ello se lleva a cabo la discusión al fin de la sesión.

Finalmente otra adecuación importante que surgiera de este trabajo fue dividir el grupo en la discusión final, esto ayuda a que se analicen los resultados de los equipos de una manera más detallada y personalizada propiciando el intercambio de ideas. También que se tenga un mejor control de los equipos al momento de la discusión lo que reduce el tiempo y favorece una actitud positiva entre los alumnos.

Para garantizar el futuro exitoso del proyecto es necesario que especialistas en el tema de evaluación elaboren una propuesta sobre la forma más adecuada de evaluación de este programa, pues hasta el momento no se cuenta con una herramienta que efectivamente nos permita medir el impacto de *Experimenta* en los alumnos. Así mismo consideramos que el proceso de evaluación del trabajo que se realiza en *Experimenta*, es un proyecto en sí mismo y por lo tanto es imposible abarcar dentro de éste trabajo de tesis.

La importancia del proyecto *Experimenta* radica no sólo en que es una propuesta de educación experimental novedosa y está enfocada al nivel medio superior, el nivel educativo que hoy acapara la atención de los educadores mejicanos. La propuesta es valiosa también y particularmente porque pone énfasis en el aprendizaje científico y específicamente en la enseñanza experimental, que está siendo renovada y diversificada en el mundo entero.

# BIBLIOGRAFÍA

## 11. BIBLIOGRAFÍA.

Asarda, J; Anna y Sanmartí Puig, N., Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3), 405-422 (2000)

Bennett, J; Kennedy, D., Practical work at the upper high school level: the evaluation of a new model of assessment. *Internacional Journal of Science Education*, 23 (1), 97-110 (2001)

Bennett, N., Cooperative learning in classrooms: processes and outcomes. *Journal of Chile Psychology and Psychiatry*, 32, 581-594 (1991)

Briscoe, C. The dynamic interactions among beliefs, role metaphores and teaching practices. A case study of teacher change. *Science Education*, 75 (2), 185-199 (1991)

Dushl, R. A. Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo. Madrid: Nancea. (1997)

Gallet, C. Problem solving teaching in the Chemistry Laboratory: Leaving the Cooks, *Journal of Chemical Education*, 75 (1), 72-77 (1998)

Giere, R. Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las ciencias*, núm. extra, 63-69 (1999)

Gil, D; Furió, C; Valdés, P; Salinas, J; Martínez-Torregrosa, J; Guisasola, J; González, E; Dumas-Carré, A; Goffard, M; Pessoa de Carvalho, A., ¿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 (1999)

Hodson, D. in search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14 (5), 541-566. (1992)

Irazoque, Glinda; Rosales, Cinthya; Fernández de Miguel, Francisco. "Proyecto de evaluación". *Experimenta*. (2007).

Obaya, A., Noé, M. y Delgadillo, G. Estudio exploratorio de actitudes en la enseñanza experimental. *Educación Química*, 12 (1), 38-41 (2001)

Obaya-Valdivia, Adolfo., Enseñanza experimental de la química. Descubrimiento y solución de problemas. *Educación Química*, 16 (1), 44-51 (2005)

Rugarcía, A. Los retos en la formación de ingenieros químicos. *Educación Química*, 11 (3), 319-330 (2000)

Viches, A; Gil, D; Solbes, J., Alfabetización científica y tecnológica. Contenidos seleccionados de *Actes V Jornades de la Curie*, 72 (2001)

# ANEXOS

## 12. ANEXOS

### 12.1 Anexo 1. Alcance de *Experimenta*. Información acerca de las poblaciones en *Experimenta*.

Desde el inicio de *Experimenta* en 2004 hasta la fecha se han atendido cerca de 7000 alumnos de nivel bachillerato, específicamente estudiantes del Colegio de Ciencias y Humanidades que es con los que se trabaja en la actualidad.

El fisiólogo Itzhak Parnas, creador del concepto de *Experimenta* en Israel, ha propuesto la firma de un convenio de intercambio que incluye aplicar el sistema de *Experimenta* México en sus laboratorios. En la Universidad de California en Davis, una exalumna de la UNAM está implementado un equivalente de *Experimenta* mientras que en la Universidad de Stanford en 2007 se inició un proyecto con características similares, que en 2008 recibió a 17 alumnos. Debido al reconocimiento intuitivo del interés de este enfoque, los proyectos mencionados cuentan con una gran cantidad de apoyo institucional y desde luego, presupuestal para su desarrollo.

En los periodos intersemestrales, *Experimenta* ha recibido a estudiantes de otros sistemas y niveles educativos. Además ha capacitado a profesores de bachillerato interesados en llevar la propuesta a sus planteles. Para ello, algo fundamental ha sido la capacitación de un gran número de estudiantes de licenciatura y postgrado, quienes constituyen el capital más valioso de *Experimenta*, y quienes han realizado su servicio social y en ocasiones se han titulado con trabajos de investigación desarrollados en este proyecto. A ellos se destina la mayor cantidad de los recursos financieros solicitados para el proyecto.

Desde sus inicios *Experimenta* cuenta con un Comité Académico Asesor que semestralmente ha revisado los reportes preparados por el director y ha avalado al proyecto. La evaluación formal de los logros de *Experimenta* ha sido planteada desde dentro, sin embargo, no existe un sistema de evaluación de objetivos semejantes. Se cuenta con algunos sistemas de evaluación de proyectos de enseñanza de las ciencias, como los promovidos por la National Academy of Sciences de los Estados Unidos, sin embargo están enfocados a objetivos distintos. Está claro que la evaluación de *Experimenta* implica un proyecto a

desarrollar por sí mismo, y se cuenta con algunos adelantos. Sin embargo, también se tiene claro que para obtener credibilidad, el proyecto no se debe evaluar por personas dentro del mismo. Lo que sí se puede decir sin descalificación, es que los logros alcanzados por los integrantes de *Experimenta* siempre han alentado a seguir adelante. Los resultados de las diferentes facetas de *Experimenta* ya se han presentado en diversos foros nacionales e internacionales.

Los profesores del centro donde inició *Experimenta* trabajan actualmente en la facultad de Ciencias y en el CCH Plantel sur impartiendo las sesiones apoyados profesores de dicho CCH.

Durante la vida de *Experimenta* se han entrenado profesores de diferentes CCH's con la finalidad de que se implemente en dichos planteles, tal es el caso de CCH Vallejo el cual opera, con toda autonomía, desde 2006 y se mantiene en contacto con la matriz localizada en la Facultad de Ciencias en Ciudad Universitaria para actualizaciones, mejoras a la propuesta e implementaciones que se deban realizar. Otro es el caso de CCH Naucalpan.

## 12.2 Anexo 2. Preparación de las disoluciones.

En el taller de química del proyecto *Experimenta* se trabaja con 3 disoluciones principalmente: luminol 2mM, sulfato de cobre 6mM y peróxido de hidrógeno 50 mM,

### Luminol 2mM

Para preparar la disolución de luminol se debe elaborar previamente una disolución buffer de carbonatos cuyo pH sea aproximadamente 9. Para preparar un litro del buffer se disuelven 8 g de carbonato de sodio, 48 g de bicarbonato de sodio y 1 g de carbonato de amonio y se afora con agua destilada. El pH de la disolución se puede ajustar ya sea con hidróxido de sodio o ácido clorhídrico. Finalmente se disuelven 0.354 g de luminol en la disolución buffer mediante una agitación prolongada y una vez disuelto se lleva a un litro.

### Sulfato de cobre 6mM.

Se disuelven 1.498 g de sulfato de cobre penta hidratado y se llevan a un litro con agua destilada.

### Peróxido de Hidrógeno 50mM.

La disolución de agua oxigenada se prepara con 50 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 3%, y se afora a un litro con agua destilada.

### 12.3 Anexo 3. Manejo de variables y comprensión de gráficas

El manejo de variables es una herramienta fundamental dentro del proyecto *Experimenta*, ya que los alumnos realizan experimentos para encontrar respuestas a los problemas que se plantean y el no saber diseñar el experimento los puede llevar a confundirse y, por lo tanto, a decepcionarse del taller.

Tomando en cuenta la importancia de las variables, una pequeña parte de la explicación es destinada para ello, en esta fase se les recuerda a los alumnos que existen dos tipos de variables una que es la variable independiente VI, la cual, como su nombre lo indica, no depende de nada pues ellos la controlan y se les hace la aclaración de que estrictamente sólo puede modificarse una a la vez. Por otra parte está la variable dependiente VD y ésta como el nombre lo indica su comportamiento depende de la modificación que los alumnos hagan al sistema ó variable independiente se les aclara que esta variable se puede componer de diversas observaciones, ya que ellos decidirán en qué se van a fijar para medir el impacto de la modificación que realicen al sistema.

Esta aclaración es vital para una buena actividad experimental y debido a que el tiempo destinado para esta parte es corto se les trata de explicar de una forma breve asegurando que se queden con lo necesario, incluso se manejan ejemplos en los que se hace ver que si modifican más de una variable no pueden atribuir a algo el comportamiento del sistema pues variaron más de una cosa, en cambio si modifican la misma variable y lo demás lo mantienen constante sabrán el efecto que tiene esa variable sobre el sistema. Otro de los conceptos que manejamos es el de parámetros fijos PF, y se refiere a todo aquello que durante el experimento se va a mantener constante.

Otra de las herramientas que dejamos a disposición de los alumnos es el empleo de gráficas para respaldar sus conclusiones, no siempre es idea de ellos usarlas y no todos los resultados se pueden representar mediante gráficas, por ello es importante llevarlos de la mano hasta que ellos mismos reconozcan que sus resultados podrían explicarse mejor si utilizan una gráfica al mostrar sus resultados. El entendimiento de las gráficas se vuelve claro si ellos ya manejan los conceptos de variable dependiente y variable independiente, los cuales se explican con anterioridad, se les indica que la variable independiente es lo que

ellos modifican y va en el eje de la X, mientras que la variable dependiente que es lo que ellos observan va en el eje de la Y, al manejar estos conceptos básicos, los alumnos le encuentran sentido a las gráficas y les sacan más provecho pues pueden concluir más cosas, en algunos casos han llegado a conceptos como el de reactivo limitante, catalizador, e incluso han encontrado una relación entre la intensidad de la luz y la duración de reacción, la cual es inversamente proporcional.

Aprovechando el que los alumnos empleen gráficas nos permite hacerles ver algunos errores que cometen frecuentemente, uno de ellos es el que cometen al unir el primer punto de la gráfica con el origen (cero), los alumnos piensan que todas las gráficas deben empezar desde cero lo que es un error pues pueden alterar toda la tendencia del resultado del experimento en especial cuando la tendencia es decreciente, con la finalidad de que los alumnos detecten el error se les explica que una gráfica de puntos está compuesta por experimentos realizados por ellos y que sirven para trazarla pero que entre estos puntos hay experimentos que se está suponiendo su resultado con el fundamento de que no se suponen al azar sino que se tuvieron que hacer las pruebas para llegar a ese resultado, así que si quisieran saber el comportamiento del sistema en un punto intermedio solamente tienen que interpolar en la gráfica y obtendrán el resultado lo cual es válido, el problema está en que al unir la gráfica con el origen están suponiendo experimentos sin fundamento válido y puede llevarlos a resultados erróneos pues no hay experimento en el origen (0,0). Con esto los alumnos se convencen y reconocen su error.

Otra de las gráficas que llegan a usar los alumnos es la de barras, en la mayoría de los casos no saben cuando usar una de puntos y una de barras, de una forma breve se les hace la aclaración de que en la gráfica de barrar se comparan resultados pero que no hay una tendencia pues no son experimentos relacionados y, a diferencia de la de puntos, entre cada barra no hay experimentos supuestos, simplemente no hay nada, este tipo de gráficas son empleadas cuando los equipos varían el orden de adición de las sustancias.

Otra de las sugerencias que se hacen a los alumnos es que por cada hipótesis que pondrán a prueba deben realizar mínimo cuatro experimentos esto con la

finalidad de identificar errores en caso de que un punto de la gráfica no siga la tendencia, ya que el sólo realizar dos pruebas puede llevarlos a resultados incorrectos que pueden confundir a los alumnos pues no saben cuál de los experimentos está equivocado.

#### 12.4 Anexo 4. Definición de fluorescencia, fosforescencia y quimiluminiscencia.

Hay tres conceptos relacionados relativos a emisión de luz a baja temperatura, cuyas fronteras en el uso común no están bien delimitadas y en la práctica su uso se mezcla constantemente. Estos son, fluorescencia, luminiscencia y fosforescencia.

No obstante, académicamente hablando, la denominación **luminiscencia** es el término físico general que se usa para identificar a todas las formas de emisión de luz a baja temperatura (exceptuando la emisión electrónica por diodos).

Una clasificación de los fenómenos luminiscentes puede ser como sigue:

##### **Fotoluminiscencia.**

Incluye los fenómenos de emisión de ondas electromagnéticas a más baja frecuencia debido a la excitación con ondas electromagnéticas de frecuencia mayor. Este fenómeno a su vez incluye:

- A) Fluorescencia:** Este efecto lo tienen las sustancias que emiten luz visible cuando se encuentran bajo la influencia de radiaciones electromagnéticas de la zona del espectro no visible, por ejemplo; rayos ultravioletas. La emisión de luz desaparece poco después que lo hace la radiación actuante (millonésimas de segundo). En la industria este efecto se usa en las lámparas fluorescentes.
  
- B) Fosforescencia:** Este efecto se refiere a la capacidad de algunas sustancias de emitir luz visible de una zona mas baja del espectro durante un tiempo, si han sido sometidas previamente a luz visible de mayor frecuencia durante un período de tiempo. Este efecto se aprovecha en la práctica para hacer brillar en la oscuridad a los números de las esferas de relojes e indicadores y en otras aplicaciones.

## **Quimiluminiscencia:**

La quimiluminiscencia típica no es más que la emisión continua de luz (solo visible en la oscuridad) debido a transformaciones de tipo físico-químico en una reacción química o en un elemento. Por tal motivo deben considerarse fenómenos quimiluminiscentes a aquellos procesos físico-químicos durante los cuales se emite luz visible de manera continua mientras dure la reacción. De este tipo son las luces emitidas por las luciérnagas, algunos peces y otros seres vivos.

Una reacción ampliamente utilizada en química forense es la oxidación de luminol con agua oxigenada en presencia de un catalizador de hierro. Esta reacción se utiliza por ejemplo en la detección de restos de sangre que sirve en este caso para catalizarla.

Las reacciones de quimiluminiscencia son más extendidas que se suele suponer aunque el rendimiento cuántico es habitualmente muy bajo y por lo tanto se requieren instrumentos muy potentes (fotomultiplicadores) para detectarlas.

## 12.5 Anexo 5. Historia del Luminol

Algunos reactivos químicos son usados para confirmar la presencia de sangre, aún en los casos en que el criminal haya intentado limpiar la escena del crimen.

La detección por anticuerpos fue desarrollada en 1901. La detección con luminol fue desarrollado en 1937. El perfil por ADN no aparecería sino hasta 1984. Cuando el Doctor Watson conoció a Sherlock Holmes, el legendario detective buscaba un químico que le permitiera detectar la presencia de la sangre.

En el primer capítulo de la serie novelesca, cuando el doctor Watson es llevado a conocer al detective como posible compañero de piso, lo encuentra gritando "¡Lo he encontrado! ¡Lo he encontrado!", refiriéndose al descubrimiento de una sustancia química que reacciona solamente en contacto con la hemoglobina y con ninguna otra sustancia.

Hoy los investigadores usan una sustancia llamada luminol, que puede hacer visibles aún a los rastros de sangre más tenues, sin importar que el delincuente los haya intentado lavar. El hierro de la sangre inicia una reacción con el luminol que produce un pálido brillo azulado. El luminol para uso profesional también tiene la característica altamente deseable de no destruir el ADN de la muestra.

El **luminol** se utiliza en química forense para detectar manchas de sangre ya que éste cataliza la oxidación con peróxido de hidrógeno bajo emisión de luz, el luminol produce luz al oxidarse. Se emplea para la detección de las manchas de sangre porque la hemoglobina que contiene la sangre actúa como catalizador.

Pulverizando una solución de luminol en un área sospechosa se produce **quimiluminiscencia\*** en los lugares en que ha habido sangre, incluso si esta ha sido lavada y no es perceptible a simple vista.

Por esto es una herramienta muy utilizada en la investigación forense, ya que gracias a sus propiedades; puede revelar hasta los rastros más pequeños de sangre, por medio de un brillo azulado. Esta peculiar característica facilita el reconocimiento de aquellas sustancias oxidantes o sus catalizadores en

situaciones que requieren rapidez y efectividad, tal como la escena de un crimen donde se demanda el señalamiento de cualquier mancha de sangre.

\* La producción de luz visible por una reacción química es el proceso de **quimioluminescencia**. Ésta ocurre cuando una reacción que libera energía produce una molécula en un estado excitado eléctricamente y esa molécula mientras regresa a su estado basal libera esta energía como un fotón de luz. La quimioluminescencia ocurre en estado gaseoso, como en los relámpagos, o en estado sólido y líquido. Las reacciones de quimioluminescencia producen luz sin una previa absorción de energía radiante. (Shakhashiri, 1986)