



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

FACULTAD DE QUÍMICA

QUÍMICA

**DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA PARA
LEYES DE LOS GASES DESDE UNA PERSPECTIVA HISTÓRICA Y DE
MODELAJE EN LA QUÍMICA DEL NIVEL MEDIO SUPERIOR**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA:

QFB VÍCTOR ALFONSO MARTÍNEZ GARCÍA

TUTOR PRINCIPAL: DRA. KIRA PADILLA MARTÍNEZ – FACULTAD DE QUÍMICA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DRA. MARÍA DEL PILAR SEGARRA ALBERÚ – FACULTAD DE CIENCIAS

DR. LUIS MIGUEL TREJO CANDELAS – FACULTAD DE QUÍMICA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., OCTUBRE DEL 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

ÍNDICE

<i>Resumen</i>	2
<i>Abstract</i>	3
<i>Capítulo 1. Marco Teórico</i>	4
1.1. <i>El bachillerato mexicano en general</i>	4
1.1.1. <i>La Escuela Nacional Preparatoria en particular</i>	6
1.2. <i>Alfabetización científica y naturaleza de la ciencia</i>	10
1.2.1. <i>Modelos y su elaboración</i>	14
1.2.2. <i>Actividades experimentales</i>	17
1.3. <i>La historia de la ciencia como contextualización</i>	20
1.3.1. <i>Desarrollo histórico de las leyes de los gases</i>	22
1.3.1.1. <i>Primeras menciones del término “gas”</i>	22
1.3.1.2. <i>Robert Boyle</i>	23
1.3.1.3. <i>Jacques Charles</i>	26
1.3.1.4. <i>Joseph Louis Gay-Lussac</i>	28
<i>Capítulo 2. Metodología</i>	30
2.1 <i>Pregunta de investigación</i>	30
2.2 <i>Hipótesis</i>	30
2.3 <i>Objetivos</i>	30
2.4 <i>Consideraciones generales para la aplicación de la secuencia didáctica</i>	31
2.5 <i>Diseño de la secuencia didáctica</i>	33
2.6 <i>Acerca de la evaluación</i>	56
<i>Capítulo 3. Resultados y análisis</i>	64
3.1 <i>De los cuestionarios</i>	64
3.2 <i>De los informes de la actividad experimental</i>	126
<i>4. Conclusiones</i>	141
<i>5. Perspectivas a futuro</i>	144
<i>6. Referencias</i>	146
<i>7. Anexos</i>	154
Anexo A. <i>Lectura histórica</i>	154
Anexo B. <i>Lectura de modelaje</i>	158
Anexo C. <i>Cuestionario de Introducción</i>	161
Anexo D. <i>Cuestionario Final</i>	164

Resumen

De acuerdo con la última reforma al plan de estudios de la Escuela Nacional Preparatoria, (aprobada en 2017), se busca la alfabetización científica (AC) de los estudiantes. Esto es el desarrollo de las herramientas necesarias para tomar decisiones en un contexto en el que la información está al alcance de la mano, así como comprender conceptos científicos, su evolución y por qué son aceptados (Genç, 2015; Sharma y Sharma, 2017).

Para el desarrollo de la AC, la Naturaleza de la Ciencia juega un rol importante (Holbrook y Rannikmae, 2009), aunque es difícil definirla con exactitud. En un sentido amplio, se incluye a la epistemología de la ciencia, también su sociología, aspectos incluso psicológicos, entre otros, en tanto que es una actividad humana (Acevedo, 2008). Es así que Osborne y col. (2003) sugieren incorporar cuestiones como *el desarrollo histórico del conocimiento* y su contexto social, creatividad, la posibilidad de predecir, cooperación y colaboración, etc.

La historia de la ciencia tiene virtudes en la educación que han sido señaladas desde hace más de 100 años. Permite mirar a las ciencias en retrospectiva y comprender lo que es aceptado en la actualidad y por qué (Laudenburg, 1900), ello resulta en una contextualización técnica y social. Raviolo y col. (2010) indican que el estudio de casos históricos constituye una herramienta para desarrollar con claridad la creación de modelos, y, el desarrollo de estos, su evaluación y revisión, permiten aprender a pensar científicamente (Justi, 2006).

Este proyecto de investigación aborda los aspectos anteriores en el desarrollo de una secuencia didáctica: se hace uso del contexto histórico, y se pretende alcanzar el desarrollo de los modelos que relacionan las variables presión, volumen y temperatura de un gas. Este trabajo fue aplicado a un grupo de estudiantes de la asignatura “Química III” de la ENP en una primera ocasión, y a partir de aquellos resultados se hicieron modificaciones que derivaron en la obtención de una segunda versión, y ésta es la que se presenta en esta tesis.

Los resultados parecen indicar que los estudiantes lograron desarrollar, con distintos matices, habilidades de modelaje y dentro de ello, integraron en su reflexión los aspectos históricos correspondientes. Sin embargo, a partir del análisis de dichos resultados, se hallaron aspectos a considerar para algunas mejoras en el diseño de la secuencia didáctica.

Abstract

According to the latest reform to the National Preparatory School curriculum (approved in 2017), the scientific literacy is sought for students. This means, the acquisition and the development of the tools to make decisions in a context in which information is at hand, understanding scientific concepts, their evolution and why they are accepted (Genç, 2015; Sharma and Sharma, 2017).

For the development of scientific literacy, the Nature of Science plays an important role (Holbrook and Rannikmae, 2009), although it is difficult to define it exactly. In a broad sense, it includes the epistemology of science, also its sociology, and psychological aspects, among others, because it is a human activity (Acevedo, 2008). Osborne *et. al.* (2003) suggest incorporating the historical development of knowledge and its social context, creativity, the possibility of prediction, cooperation and collaboration, etc.

The science history has virtues in education that have been noted for more than 100 years. It allows to look at the sciences in retrospective and understand what is accepted today and why (Laudenburg, 1900), this results in a technical and social contextualization. Raviolo *et. al.* (2010) indicate that the study of historical cases constitutes a tool to develop the creation of models. Moreover, the development of models, their evaluation and revision, allow us to learn to think scientifically (Justi, 2006).

This research project is about the aforementioned aspects in the development of a didactic sequence: taking advantage of the historical context, and it intends to develop the models that relate the variables pressure, volume and temperature of a gas. This work was applied to students of a “Chemistry III” class group of the National Preparatory School on a first time, and from those results, modifications were made. Thus, it was possible to obtain a second version, and this is the one presented in this thesis.

The results suggest that the students achieved the development of modeling skills, with different nuances, and they integrated some of the corresponding historical aspects. However, from the analysis of these results, were found some aspects to be considered for the improvement in the design of the didactic sequence.

Capítulo 1. Marco Teórico

1.1. El bachillerato mexicano en general

En México, las primeras escuelas que guardan cierta equivalencia con el bachillerato actual y de educación superior, aparecieron en la época colonial en el siglo XVI. Se tiene el registro del Colegio de Santa Cruz de Tlatelolco, el de San Juan de Letrán y el de Santa María de Todos los Santos. Posteriormente, ya en el México independiente, se creó la Dirección General de Instrucción Pública para el Distrito Federal y Territorios de la Federación (Hernández, 2012), sin embargo, durante los primeros años de esta nación, los sectores liberales y conservadores, así como los conflictos bélicos internos y externos, entorpecieron la cimentación y funcionamiento de un sistema educativo para todo el país. Hubo que esperar la victoria definitiva de Benito Juárez; así, en 1867, se promulgó la Ley Orgánica de Instrucción Pública, que dio pie a un proyecto educativo a largo plazo e influyó sobre las leyes de los estados de la república (Álvarez y col., 1994).

En el gobierno juarista se introdujo el positivismo de Augusto Comte como una filosofía bajo la cual se creó la Escuela de Estudios Preparatorios (Álvarez, y col. 1994). Esta doctrina alcanzó su apogeo en México con Gabino Barreda (Hernández, 2012).

El positivismo renuncia a cualquier tipo de dogmas (quizás sólo admite el del científicismo), concibe matemáticamente al universo y clava su mirada en los hechos. Enuncia la ley de los tres estados: el teológico, el metafísico y el positivo. Éste representa su fin último, y es el estado en el que el interés radica en “descubrir cómo se comportan las cosas y encontrar leyes que expliquen ese comportamiento” (López, 2005).

Barreda y los intelectuales de la época, consideraron que México debía encaminarse hacia el “estado positivo” (Velázquez, 2006) pero, por otro lado, incluso los positivistas ortodoxos reconocían la necesidad de consolidar el nacionalismo, así como de considerar el estudio de las disciplinas que Comte no reconocía como ciencias, esto es, la geografía, economía e historia (López, 2005).

En este contexto, en 1868, ocurrió la creación de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) con Gabino Barreda al frente de la institución (Hernández, 2012; Neyra, 2010). El plan de estudios diseñado por él mostró la influencia comteana: matemáticas, astronomía, física, biología, química y lógica en el tronco común. Dejó fuera asignaturas relacionadas con el desarrollo de las artes, pero incluyó asignaturas como historia, geografía y sociología, que se pensaron indispensables para la reforma del estado mexicano (López, 2005). Con este

diseño, los objetivos de la ENP fueron: servir de puente entre los estudios primarios y los superiores, y consolidar la ideología liberal en los mexicanos, considerándose entonces, la “columna vertebral” para la educación, un paso audaz en la instrucción pública mexicana (Hernández, 2012).

A inicios del siglo XX, con Justo Sierra en el antiguo Ministerio de Educación, la Universidad se transformó adquiriendo el carácter de Nacional de México, e incorporó las escuelas de Medicina, Jurisprudencia y la Nacional Preparatoria (Neyra, 2010), teniendo como consecuencia que la ENP se volvió el bachillerato universitario y adquirió un nuevo rasgo de estudios, aunque no dejó de lado el positivismo (Velázquez, 2006).

Más adelante se presentaron nuevas tendencias educativas: hubo el interés por el aprendizaje de oficios dando origen a las primeras preparatorias técnicas y se creó el Instituto Politécnico Nacional, cuyo objetivo era contribuir al desarrollo eminentemente industrial del país (Hernández, 2012; Neyra, 2010).

En la segunda mitad del siglo XX, la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación superior (ANUIES, creada en 1948) propuso un currículo en el que los contenidos científicos no eran lo medular, sin embargo, en 1964, Ignacio Chávez revirtió estos logros, recayendo así en el enfoque positivista. Asimismo se consolidó el diseño curricular basado en competencias (Hernández, 2012).

En el sexenio de Luis Echeverría (1970-1976) se masificó la educación. Se crearon instituciones educativas de diversos niveles y perfiles pero sin un programa real ni justificación para su creación (Hernández, 2012). Políticamente, fue apropiado para la época del “desarrollo estabilizador” y se intentó aprovechar la explosión demográfica de la época. Algunas de las instituciones que se crearon fueron: Centros de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios (CBTIS), Centros de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyT), el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP), el Colegio de Bachilleres y la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (Neyra, 2010).

La diversidad de instituciones de Educación Media Superior (EMS) se pudo reducir y encauzar para dar como resultado actual aproximadamente 20 diseños curriculares. Esta organización es consecuencia de la Reforma Integral de la Educación Media Superior (2008), en la que se planteó atender la cobertura, calidad y equidad, mediante ejes como un marco curricular común basado en competencias, y la definición y regulación de las distintas

modalidades de la EMS (Razo, 2018). Así, estas escuelas quedaron agrupadas en tres modalidades (Hernández, 2012):

1. Bachillerato universitario, dependiente de las universidades autónomas del país.
2. Bachillerato general, dependiente de la Dirección General de Bachillerato.
3. Bachillerato tecnológico, dependiente de la Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológicas (SEIT); esta opción proporciona formación técnica profesional, y permite continuar con estudios superiores.

1.1.1. La Escuela Nacional Preparatoria en particular

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) contribuyó con la política de la expansión de la cobertura de la EMS. Fue por ello que, según la Dirección General de la Escuela Nacional Preparatoria mediante su página electrónica, a partir de los años 50 se crearon en total 9 planteles de la ENP, así como un proyecto de bachillerato distinto a ésta. Es el caso de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades.

Por otro lado, si bien no se ha aumentado el número de planteles de la ENP, la UNAM ha hecho un esfuerzo por aumentar la matrícula estudiantil en el bachillerato:

Tabla 1. Se observa la cantidad de alumnos admitidos en el bachillerato de la UNAM (primer ingreso) en algunos ciclos escolares. También aparece el número de estudiantes inscritos en total (de los 3 grados) y el número de egresados. Datos tomados del Portal de Estadística Universitaria.

Ciclo escolar	No. de estudiantes		
	<i>Primer ingreso</i>	<i>Total</i>	<i>Egresados</i>
1999 – 2000	32 530	100 926	18 494
2004 – 2005	34 247	105 972	22 220
2009 – 2010	34 861	108 699	25 219
2014 – 2015	35 196	112 576	28 222
2018 - 2019	34 464	112 588	No disponible

Como puede verse, del año 2000 a la fecha la población en el nivel medio superior ha crecido, aunque bastante poco a lo largo de dos décadas. En contraste, al interior de la ENP, suele considerarse un alarmante sobrecupo en las aulas, diseñadas para 50 alumnos, pueden llegar a recibir hasta 70 integrantes.

En cuanto a algunas de las características generales de la población estudiantil, la UNAM reporta las siguientes estadísticas:

Tabla 2. Se muestran algunas características de la población estudiantil que ingresó al bachillerato de la UNAM en el año 2015. Datos tomados del Portal de Estadística Universitaria.

Características de la población estudiantil del bachillerato (primer ingreso, año 2015)	
Edad	Sexo
<ul style="list-style-type: none"> ❖ 70% tiene 15 años ❖ 25% tiene 16 años 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ 52% hombres ❖ 48% mujeres
Estudios previos	
<ul style="list-style-type: none"> ❖ <i>Tiempo para concluir</i>: el 98% lo hizo en 3 años ❖ <i>Promedio</i>: el 46% obtuvo entre 9 y 10, el 27% entre 8 y 9, el 26% entre 7 y 8 ❖ <i>Exámenes extraordinarios</i>: el 94% nunca presentó ninguno 	
Acerca del contexto familiar:	
<ul style="list-style-type: none"> ❖ 90% no trabaja ❖ 93% perciben “muchísima insistencia de los padres en los estudios” ❖ 96% tiene entre 0 y 2 hermanos ❖ Ingreso económico (en salarios mínimos): 25% perciben más de 6, 22% de 4 a 6, 35% de 2 a 4, 18% menos de 2 	

La ENP, en su página electrónica, se presenta como “una Institución pública y que constituye un modelo de la enseñanza media superior”. Explica que su misión y visión son “brindar educación de calidad para continuar con estudios superiores, así como para enfrentar los retos del mundo actual mediante una formación integral”. Para ello, busca proporcionar “una amplia cultura, valores, mentalidad analítica y crítica”, así como “la capacidad de obtener nuevos conocimientos, destrezas y habilidades para enfrentar los retos de la vida”.

También indica que “es parte inherente de la misión de la ENP, realizar investigación educativa para desarrollar y aplicar nuevos métodos y técnicas avanzadas que eleven la calidad de los procesos de enseñanza y aprendizaje.”

En relación con los planes de estudio que ha habido en la ENP, han sido 17 en total. En 1998, Flores Calvo presentó un análisis exhaustivo desde el currículum que se implementó con la fundación de la escuela (1867) hasta el Plan de 1996. Éste tuvo características como planteamientos interdisciplinarios entre las distintas asignaturas, aumento de la carga horaria para Lengua Española y Matemáticas, y la reducción de 6 a 4 áreas de conocimiento en el último año, que hacen de propedéutico para el ingreso a la licenciatura.

Flores Calvo (1998) señala que las teorías de aprendizaje usadas como marco para el diseño del Plan de 1996 no influyeron en todas las asignaturas, entre éstas, las de la Química. Es decir, los contenidos y estrategias de enseñanza de la materia pudieron ser semejantes a los

del plan anterior al de 1996, esto es, el de 1964. En consecuencia, implica que hasta el año 2016 se estuvo impartiendo con un esquema diseñado hace más de 50 años.

Actualmente, derivado del *Programa Integral del Fortalecimiento del Bachillerato* (UNAM, 2009), se creó el Plan de estudios 2017, ahora ya implementado y en funcionamiento en la ENP. Este proyecto, ejecutado por la Secretaría de Desarrollo Institucional (SDEI) de la UNAM, tuvo como propósito “definir los conocimientos fundamentales, habilidades específicas y una cultura general de las disciplinas impartidas” (incluida, desde luego, la Química). Consideró entre sus criterios el desarrollo reciente de cada disciplina y su pertinencia en el marco de la EMS (UNAM, 2009).

Durante la creación del último plan de estudios, hubo algunas voces que, por un lado, señalaban que era necesaria la revisión curricular, y, por otro, sugerían hacer partícipes a los docentes, puesto que los objetivos de los profesores y los de los programas académicos deberían ser convergentes (Legaspi y colaboradores, 2017). De algún modo, esto fue tomado en consideración y realizado por la Dirección General de la Escuela Nacional Preparatoria (DGENP), quien se integró al proyecto como un copartícipe natural. En 2013, la DGENP presentó sus “Avances del Proyecto de Modificación Curricular” (DGENP, 2012), documento en el que indicó sus actividades. Algunas de ellas fueron: un diagnóstico del Plan 1996, entrevistas a docentes, alumnos, egresados y directivos de Facultades. También señala que fundamentó y diseñó la modificación, así como del modelo educativo.

El modelo fue entendido como “la orientación conceptual y la caracterización teórico-metodológica de índole pedagógica y organizacional plasmada en el diseño curricular, contemplando las tendencias educativas mundiales y los cambios en la educación superior”. Se consideró que “el aprendizaje es un proceso intencionado, guiado y autorregulado en el que los conocimientos toman sentido al estructurarse en los ya adquiridos e interactuando con el contexto social.” (DGENP, 2012).

Según la página electrónica de la DGENP, este plan de estudios fue finalmente aprobado por el H. Consejo Técnico el 17 de mayo de 2017, y se hicieron públicos los documentos correspondientes a cada asignatura. Así, en el caso particular de la Química, se dio a conocer que se pretende impartir en 3 momentos: Química III (obligatoria y de tronco común en el segundo año), Química IV (obligatoria para los alumnos de las áreas I y II, en el tercer año) y Fisicoquímica (optativa para las áreas I y II).

Algunos de los aspectos y propósitos señalados en la versión extensa del programa oficial de la asignatura Química III (DGENP, 2017, p.7) son:

- ❖ “Que el estudiante adquiera y use principios y conceptos químicos para analizar y reflexionar acerca del ambiente, la salud y la tecnología, así como que construya conocimientos, desarrolle habilidades y actitudes para la toma de decisiones basadas en la cultura científica.”
- ❖ “Que se implemente el enfoque Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA), así como la enseñanza centrada en el estudiante, que él trabaje de manera activa y colaborativa para apropiarse del conocimiento y se responsabilice de su propio aprendizaje.”
- ❖ “Que el docente provea un ambiente para el aprendizaje significativo, evitando que la enseñanza tenga énfasis en la ciencia teórica y descontextualizada.”
- ❖ “Que la asignatura favorezca que el estudiante desarrolle la capacidad de abstracción mediante la interrelación de los tres niveles de representación de la materia: el macroscópico, el nanoscópico y el simbólico.”
- ❖ Se rechazan tendencias educativas tradicionales como “la transmisión pasiva de información, memorización, realización mecánica de ejercicios numéricos y del lenguaje químico”.

En relación con los distintos tipos de contenidos que dan pie a este proyecto de investigación aparecen:

- ❖ **Disciplinares:** En general el curso consta de tres unidades, 1) Elementos químicos en los dispositivos móviles: una relación innovadora, 2) Control de emisiones atmosféricas en las grandes urbes, y 3) Abastecimiento del agua potable: un desafío vital. Cabe especificar que en particular, el contenido conceptual central de esta investigación se ubica en la unidad 2, aspecto señalado como *“la calidad del aire que respiramos. Difusión de los contaminantes en el aire: propiedades del estado gaseoso y teoría cinético molecular”*.
- ❖ **Procedimentales:** Lectura y análisis de textos. Elaboración de tablas y gráficos. Representación simbólica y nanoscópica de sustancias contaminantes empleando el modelo de partículas.
- ❖ **Actitudinales:** Tolerancia y compromiso en su participación de manera colaborativa durante la realización de actividades experimentales y en el aula en general. Valoración

de la cultura científica como herramienta para el análisis de propuestas y opiniones relacionadas con la contaminación del aire.

Finalmente, en las sugerencias de trabajo, señala que “se propone una metodología centrada en el alumno, y abordar los contenidos de manera contextualizada.” Así como “promover la participación activa del estudiante y otorgar retroalimentación constante como parte de un proceso formativo.” Y también se recomiendan actividades como “cuestionarios de diagnóstico, elaboración de productos académicos como una ponencia científica escolar, trabajo colaborativo, organización de información en tablas y gráficas para su interpretación y el establecimiento de la relación entre variables que orienten el establecimiento de inferencias y conclusiones”.

Como puede verse, en el documento correspondiente al programa oficial de la asignatura, se demanda que se trabaje la alfabetización científica de los alumnos a través de la Química. También se percibe que habrá que incluir el desarrollo de habilidades de pensamiento científico, el modelaje y la enseñanza contextualizada (que en el caso particular de esta investigación corresponde con el enfoque histórico y la cotidianeidad).

1.2. Alfabetización científica y naturaleza de la ciencia

De acuerdo con Holbrook y Rannikmae (2009) es muy difícil definir con claridad el término “Alfabetización Científica” (AC), incluso hay diferencias en cuanto a países y traducciones. Sin embargo, entre los múltiples autores hay coincidencia en cuanto a que la AC se ha ido instalando poco a poco como una necesidad educativa desde finales del siglo pasado. Se produjo una toma de conciencia para superar la visión elitista de las ciencias y, en su lugar, dar pie a un movimiento llamado “Ciencia para Todos” liderado por la UNESCO. Esta corriente orientó parte de la producción didáctica de las ciencias en años recientes y edificó, por ejemplo, el enfoque “Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente” (CTSA) (Macedoi, 2016).

Una de las menciones más citadas en cuanto a la AC, es la que difundió la National Research Council (1996), en la que se señala que se trata de una herramienta para las personas, cuyo propósito es tomar decisiones y expresar ideas acerca de eventos cotidianos, especialmente tratándose de tecnología y ambiente. Para ello, estos individuos requerirían comprender conceptos de ciencia básica para desarrollar conciencia de múltiples temas que tienen impacto en la sociedad.

Uno de los objetivos de la AC para con los estudiantes, es lograr que se sientan atraídos hacia la ciencia implicada en su cotidianidad, y que al completar sus estudios obligatorios de educación científica, se conviertan en “ciudadanos reflexivos”. (Grace, 2011). En términos sencillos, esto significa que, incluso si en el futuro un estudiante no se vuelve un investigador científico o no tiene relación con la ciencia, las herramientas que haya desarrollado durante el aprendizaje de la ciencia, puedan beneficiarle en otros aspectos de su vida (Sharma y Sharma, 2017).

Por otro lado, la AC se vuelve protagonista en la educación del siglo XXI al transitar de la era industrial hacia la era del conocimiento, y, en el futuro próximo, la era del diseño y la innovación, dando así un fuerte empuje a la AC. Adicionalmente, también se trata de la era digital, en la cual, la información relacionada con desarrollos científicos de interés público está al alcance de la mano, haciendo que los individuos tomen decisiones con base en esta información (Sharma y Sharma, 2017). Según Genç (2015), un individuo alfabetizado en ciencia, y que es funcional, puede escribir y leer conceptos científicos, así como discutir un artículo científico usando términos adecuados; este tipo de personas conoce el desarrollo de teorías y por qué fueron aceptadas, y el rol de los experimentos científicos.

De acuerdo con Genç (2015), existen diferentes dimensiones de la AC. Algunos de éstas son: comprender la forma en la que se hace la ciencia y sus leyes (la naturaleza de la ciencia), comprender términos científicos, conceptos, principios y llevarlos a la vida cotidiana, comprender la relación entre ciencia, tecnología y sociedad, así como desarrollar las herramientas que enlazan a éstas tres.

En cuanto a la “Naturaleza de la Ciencia” (NdC), tampoco hay un consenso para una descripción específica. Incluso, puede decirse que su significado cambia dependiendo de la relación existente (por ejemplo, profesor-estudiante, científico-profesor, etc). Sin embargo, lo que sí parece ser claro es que juega un rol importante en el desarrollo de la alfabetización científica (Holbrook y Rannikmae, 2009), y ésta es una meta que pretende alcanzar la ENP según su nuevo plan de estudios. En otras palabras, la institución pretende que de ella emanen estudiantes alfabetizados científicamente, y por tanto, en su formación científica, habría de incluirse la NdC como una herramienta, sin ser la única, que permite alcanzar la AC.

Aunque existen distintas y múltiples posturas en torno a la definición y características de la NdC, pueden plantearse dos corrientes (Acevedo, 2008):

- ❖ La que sostiene que se trata de la epistemología de la ciencia, y las características del conocimiento científico derivado de la investigación;
- ❖ La que, además de la epistemología, incluye la sociología de la ciencia, sus aspectos políticos, económicos e incluso psicológicos, entre otros, en tanto que es una actividad humana.

En relación con los rasgos o características básicas de la NdC que deben ser aprendidos por los estudiantes, Lederman y colaboradores (2002) proponen, entre otros aspectos:

Tabla 3. Algunas características de la NdC enunciadas por Lederman y col.

<i>Características de la NdC según Lederman y colaboradores</i>
El conocimiento científico (CC) nunca es absolutamente cierto, es provisional y deriva de observaciones del mundo natural.
La ciencia se basa en la observación y la inferencia o deducción. Distintas perspectivas contribuyen a múltiples interpretaciones de las observaciones.
El CC proviene de la imaginación y la creatividad humanas, al menos parcialmente. Se genera mediante la imaginación y el razonamiento lógico; es un constructo.
Como actividad humana, la ciencia se practica en un contexto cultural, y los científicos son producto de esa cultura. Por tanto, la ciencia es influida por la sociedad y la cultura donde se desarrolla. Impacta en cómo se hace, se interpreta, se acepta y se utiliza.
El CC es subjetivo, aun así es posible su progreso y consistencia. Como constructo humano hay una subjetividad personal inevitable y valores que impactan en cómo y hacia dónde va.

Por otro lado, la National Research Council (1996) señala explícitamente que la NdC forma parte de sus estándares en cuanto a la educación científica en un sentido amplio, es decir, semejante al que plantea la segunda postura mostrada anteriormente, en la cual cabe, por ejemplo, la corriente CTSA.

Según Garritz (2006), cuando una institución adopta los objetivos CTSA, se está dando continuidad al enfoque de tipo “ciencia para todos”. Éste surgió a finales del siglo XX y ha sido difundido en los últimos años por la UNESCO (Macedoi, 2016).

De acuerdo con Garritz (2006), teniendo estas tendencias como marco, se busca el aprendizaje de:

- ❖ Conocimientos y sus aplicaciones: hechos, conceptos y su empleo directo e indirecto en situaciones reales o hipotéticas.
- ❖ Habilidades intelectuales y prácticas: clasificar, controlar variables, usar modelos, predicción a partir de datos, o bien, operaciones con distintas clases de instrumentos.
- ❖ Resolución de problemas: combinar conocimientos y habilidades para resolver problemas.
- ❖ Rasgos y actitudes científicas: honestidad, socialización de resultados, capacidad de observación, elaboración de informes.

Por otro lado, Osborne y colaboradores (2003) presentan aspectos científicos que deben incorporarse a la educación. Se obtuvieron a partir de opiniones de expertos y entre ellos se hallan:

- ❖ El desarrollo histórico del conocimiento científico, y su contexto social
- ❖ La diversidad del método científico, es decir, la inexistencia de una metodología única
- ❖ Creatividad, hipótesis, observaciones, mediciones y la posibilidad de predecir
- ❖ Cooperación y colaboración en el desarrollo del conocimiento científico
- ❖ Bases empíricas del conocimiento científico

Finalmente, Macedoi (2016) plantea que el desafío de la educación científica parte de que todos puedan acceder al conocimiento científico y dar espacio al error, la búsqueda, a aprender con otros y de otros, al trabajo colaborativo para desarrollar la creatividad. Actualmente la idea de “enseñar ciencias” se refiere a educar a través de los conocimientos científicos. Así, la ciencia deja de ser un fin en sí mismo y se vuelve un medio para educar y formar.

En resumen, a partir de que el Plan 2017 de la ENP demanda alfabetizar científicamente a sus estudiantes, se puede recurrir a la inclusión de una herramienta como la NdC en un sentido amplio, esto es, aspectos científicos y sociales, lo cual implica que hay que imprimir a la enseñanza el enfoque CTSA para lograr que los estudiantes aprendan no sólo contenidos disciplinares sino que consigan una visión más extensa de la química, en el entendido de que es un producto del ser humano. No obstante, pretender alcanzar la AC a través de una secuencia didáctica resulta imposible, sería más factible si se adopta como una visión institucional, y se maneja como una premisa en común para las asignaturas científicas, en este caso, de la ENP.

Es por lo anterior, que debió hacerse una elección de los aspectos a explotar en este trabajo de investigación: la creación de modelos y el uso del contexto histórico.

1.2.1. Modelos y su elaboración

De acuerdo con Justi (2011a), el conocimiento científico tiene relación con la elaboración de modelos con diferentes alcances y poder predictivo. La investigación se caracteriza por el desarrollo, evaluación y revisión de modelos, a través de criterios y estrategias propios de la ciencia. Este proceso mental se denomina “modelización” y, considerando las etapas de este proceso, parece claro que aprender a pensar científicamente está relacionado con aprender a desarrollar, evaluar y revisar modelos. Es por lo anterior que la modelización (o “modelaje”) se puede considerar una herramienta fundamental en la enseñanza científica. Esta postura es compartida por distintos autores (Halloun, 2004; Justi, 2006).

En una revisión de la literatura es posible hallar múltiples definiciones acerca del concepto de “modelo”, que si bien guardan semejanza en mayor o menor medida, esta diversidad puede entorpecer su estudio. Muestra de ello es el trabajo de Adúriz (2012), en el cual advierte que es conveniente acotar este concepto cuando se tiene la finalidad de analizarlo. Para ello descartó, por ejemplo, a los modelos de las ciencias sociales y adoptó una perspectiva epistémica, esto es, la naturaleza, construcción y uso de los modelos como representaciones teóricas externalizadas y consensuadas del mundo.

En razón de la diversidad comentada, puede ser conveniente para este trabajo de investigación elegir una definición del concepto de modelo. A continuación se presentan algunas de las que se reportan:

Se trata de una entidad abstracta que es una representación de un objeto o fenómeno cuyo objetivo es describir, explicar y predecir. Es producido por el ser humano y se usa para conocer, investigar y comunicar. Se basan en aspectos específicos del sistema, y están asociados a imágenes o representaciones. Resultan en una herramienta mediante la que se obtiene información del objeto de estudio, mismo que no puede ser observado o medido directamente (Raviolo y col. 2010; p. 581).

Son representaciones de un objeto, un proceso o un fenómeno. Se elaboran para explicar aspectos como su funcionamiento y, eventualmente, predecir futuros estados. Son un mediador entre la realidad que se modela, y las teorías sobre esa realidad. Asimismo, son

representaciones parciales del objeto o fenómeno, es decir, no son copias de la realidad (Justi, 2011b; p. 86).

Son *“aquellas construcciones matemáticas, físicas, analógicas o mentales que ayudan a explicar y organizar las observaciones, permiten la simplificación de fenómenos complejos o hacen evidente un concepto abstracto y permiten desarrollar un marco de referencia para generar investigaciones futuras”* (Padilla, 2012; p.413).

La diversidad de ideas reportadas, aunque guarden ciertas semejanzas, pueden ser una señal que indica que tal herramienta es compleja. No obstante, es necesario delimitar este concepto para tener un marco de referencia dentro del cual se pueda desarrollar la secuencia didáctica y toda esta investigación.

Es así que los modelos pueden entenderse como *representaciones mentales, matemáticas o físicas de un objeto o fenómeno, hechas por el ser humano, quien se basa en características determinadas de aquello que se modeliza y no puede escapar del contexto en que se encuentra. Su objetivo es describir, explicar y, de ser posible, hacer predicciones. Como son realizados por las personas, resultan en representaciones parciales del objeto o fenómeno, por tanto, nunca pueden tomarse como una copia idéntica y en consecuencia, son una simplificación.*

En cuanto a la creación de un modelo, así como no existe una definición consensuada acerca del concepto, naturalmente tampoco hay una metodología bien delineada para su elaboración. Guevara y Valdez (2004) señalan que esta actividad podría considerarse un arte, en el cual, es imprescindible la creatividad; se trata de una destreza que debe ser aprendida, aunque no necesariamente enseñada, puesto que no hay reglas escritas para ello, y de hecho, tampoco puede pretenderse que los estudiantes desarrollen “el mismo modelo de la misma forma” (Halloun, 2004). Aún con lo anterior, Justi y Gilbert (2002) presentan una propuesta que consiste en cuatro etapas:

- ❖ Primera: definir un objetivo. En función de éste, hacer observaciones iniciales (directas o indirectas, cualitativas o cuantitativas), las cuales pueden ser empíricas o información obtenida a partir del contacto con el objeto a modelar. También hay que seleccionar los aspectos de la realidad que se usarán para describir al objeto (por ejemplo, recursos matemáticos). Con lo anterior, en conjunto con el razonamiento crítico y la creatividad, es posible plantear un modelo mental inicial.

- ❖ Segunda: elegir cómo “expresar” el modelo (verbal o matemáticamente). En este punto es posible “ir y venir” entre el modelo mental de la primera etapa y la forma de expresarlo. Esto implica que es posible hacer modificaciones al modelo, o bien, expresarlo de diferentes maneras.
- ❖ Tercera: comprobación del modelo mediante experimentos mentales y/o pruebas experimentales reales (dependiendo de la factibilidad, los recursos, conocimientos del individuo o grupo, etc). En caso de fallo, corresponde modificar al modelo. En última instancia, puede llevar a reconsiderar el modelo desde la primera etapa, siendo así una oportunidad para agregar el conocimiento adquirido a partir de la falla.
- ❖ Cuarta: si el modelo tiene éxito en la etapa previa, se puede considerar que el modelo cumple con el propósito para el que fue elaborado, es decir, es válido. La siguiente tarea es darlo a conocer, convencer a otros de su validez y reconocer las limitaciones que pudiera tener. La validez y las limitaciones han de enmarcarse en el objetivo de la primera etapa.

Acotando al modelaje como actividad en el aula, Guevara y Valdez (2004) subrayan que la modelización es una herramienta del pensamiento que no se aprende como un contenido sino que es una habilidad a practicar durante un tiempo prolongado y en distintos contextos. Por ejemplo, Bruce (2013) realizó una investigación en la que demuestra que es conveniente presentar el concepto de modelo desde el inicio de un curso universitario de fisicoquímica básica, para permitir que los estudiantes adopten esta herramienta de manera efectiva.

Por otro lado, hay que tener en consideración que las ideas iniciales de los alumnos pueden presentar cierto grado de diversidad, misma que también puede aparecer en sus procesos de razonamiento. La mayoría de los estudiantes no tienen claro qué son los modelos, sus características, funciones y limitaciones. Es así que entre las ideas que pueden tener los alumnos, se encuentran que: “son copias de la realidad”, “algo real pero a otra escala”, “un caso ejemplar”, “una entidad que necesariamente es algo visual”. Además, podrían desconocer que distintos modelos pueden referirse a un mismo fenómeno, enfatizando diferentes aspectos del mismo (Aragón, 2007; Raviolo y col., 2010).

Estas deficiencias (previas o no) suelen provenir del docente, quien puede tener creencias distorsionadas en cuanto al concepto. Es común que se enfatice la función descriptiva y explicativa, dejando de lado su uso predictivo y en la elaboración de hipótesis. En

consecuencia, el alumno puede no reconocer la utilidad de esta poderosa herramienta (Aragón, 2007; Raviolo, 2010).

Finalmente, Aragón (2007) hace hincapié en la naturaleza cambiante de los modelos, y esto es consecuencia de los cambios en el pensamiento científico. Para Guevara y Valdez (2004) esta característica remite con claridad a la NdC.

1.2.2. Actividades experimentales

En el contexto de los cambios en las tendencias educativas señaladas previamente, no tiene cabida el uso del enfoque tradicional para la realización de trabajos experimentales. Aquel enfoque suele basarse en un manual con una serie de instrucciones que guían al alumno y le dicen lo que tiene que hacer. Este tipo de “receta de cocina” se encuentra totalmente alejada del espíritu de la ciencia.

El trabajo práctico es un aspecto que lógicamente se halla inmerso en la naturaleza de la ciencia y en la alfabetización científica, sin embargo, no corresponde con uno de los objetivos principales de esta investigación. Aunque, por otro lado, como se contempló incluir actividades prácticas, éstas debieron tener un enfoque no tradicional. Es decir, no obstante que no es un objetivo central, no pueden soslayarse las tendencias modernas en cuanto a actividades prácticas, para poder integrarlas al resto de este proyecto.

En este contexto Hernández-Millán y colaboradores (2012), recuerdan que el aprendizaje de conceptos, la construcción de modelos y los trabajos prácticos se solían investigar separados de la didáctica, siendo que estos aprendizajes se desarrollan de forma paralela en la investigación científica. Por tanto, sugieren que en la didáctica deberían incluirse este tipo de aspectos (como las actividades experimentales) para darle un enfoque integral a la investigación en la materia.

Para mostrar la evolución de la enseñanza experimental, Hernández-Millán y colaboradores (2012) señalan que desde el análisis presentado por Hodson en 1994, el cual fue un parteaguas, se tuvo una gran consecuencia: el surgimiento de estrategias novedosas que se aprecian en la actualidad, y, como es de esperarse, las ciencias experimentales en general, no pueden concebirse sin actividades de laboratorio (Priede y Krumina, 2012).

En este sentido, Espindola y Velloso (2018) señalan que en los últimos años se ha presentado en distintos trabajos que, una estrategia poderosa, es la enseñanza por

investigación. Este enfoque permite que el estudiante entre en contacto con cuestiones de la práctica científica profesional, por ejemplo, a través de su participación en discusiones acerca de un fenómeno natural, resolución de problemas, análisis y evaluación de datos (Sasseron, 2015). También contribuye a la alfabetización científica porque se replican parcialmente las actividades de los científicos, da origen a una imagen más sofisticada del quehacer científico e incrementa el desarrollo personal e intelectual. Si bien en cuanto a logística y complejidad, la ciencia escolar y la ciencia profesional son diferentes, la enseñanza por investigación permite cerrar la brecha entre esas dos comunidades. (Espindola y Velloso, 2018).

Por otro lado, Caamaño (2003) califica a los trabajos prácticos tradicionales como “cerrados” porque son un conjunto de instrucciones que impiden que el estudiante aprecie los objetivos de cada tarea y/o cómo resolverla, y considera que al convertir el trabajo de laboratorio en actividades “abiertas”, ha de hacerse de forma paulatina hasta alcanzar el grado de investigación en el aula si esto fuera la intención.

La propuesta de Caamaño (2003) permite observar distintos tipos de actividades experimentales, y al implementarlas se pretende alcanzar diferentes objetivos:

- ❖ *Experiencias*: para que el alumno se familiarice mediante un primer contacto con el objeto o fenómeno en el contexto del aula.
- ❖ *Experimentos ilustrativos* (“demostraciones”): para ilustrar un principio o relación entre variables. Se trata de una aproximación cualitativa o semicuantitativa del fenómeno.
- ❖ *Ejercicios prácticos*: para aprender *destrezas prácticas* (i.e. habilidades técnicas, tomar medidas), *intelectuales* (i.e. clasificar, interpretar, diseño experimental) y *de comunicación* (i.e. plantear un experimento por escrito o realizar un informe). También pueden tener como objetivo corroborar o ilustrar la teoría.
- ❖ *Investigaciones*: permiten al estudiante trabajar como un científico, o bien, que se familiarice con el trabajo científico. Pueden dedicarse a resolver problemas *teóricos* o *prácticos*. Éstos enfatizan la planificación y ejecución de una investigación; en general, pretenden la comprensión procedimental de la ciencia. El contexto comúnmente es la “vida cotidiana”.

No obstante la diversidad que se observa en la clasificación anterior, una misma actividad práctica puede contemplarse para ser trabajada en casi cualquiera de los cuatro tipos, tomando en consideración los objetivos didácticos pretendidos y la orientación que se le quiera dar (Hernández-Millán y col., 2012).

Si lo que se quiere implementar es una investigación, existen distintos “grados de apertura”. En la tabla 4 se presenta la propuesta de Caamaño (2003):

Tabla 4. Muestra los distintos grados de apertura que puede tener una investigación. A la izquierda aparecen los múltiples aspectos que constituyen al trabajo práctico y para cada caso se indica si es el profesor (P) o el alumno (A) quien ejecuta o elige la actividad. Tomado de *Los trabajos prácticos en ciencias*, A. Caamaño (2003)

Aspectos	Grado de apertura de una investigación					
	1	2	3	4	5	6
<i>Área de interés</i>	P	P	P	P	P	A
<i>Establecimiento del problema</i>	P	P	P	P	A	A
<i>Planificación</i>	P	A	A	A	A	A
<i>Determinación de la estrategia</i>	P	P	A	A	A	A
<i>Realización</i>	A	A	A	A	A	A
<i>Interpretación de los resultados</i>	P/A	P/A	P/A	A	A	A

Como puede verse, la apertura de una investigación está dada por el grado de participación del profesor y del alumno dándole a éste distintos niveles autonomía. Así, por ejemplo, en una investigación abierta hasta el grado 3, el área de interés y el establecimiento del problema vienen dados por el profesor, mientras que la planificación, la determinación de la estrategia y la realización son hechas por el alumno. Y, en cuanto a la interpretación de resultados se hace por la dupla profesor-alumno.

Es importante elegir el nivel adecuado de apertura porque esto impacta en la dificultad de la investigación; ha de tenerse en cuenta las habilidades con las que llegan los estudiantes para enfrentar ese reto, aunque eventualmente, el profesor puede intervenir de algún modo. Priede y Krumina (2012) consideran que los ejercicios del laboratorio deben ser claramente comprensibles por los estudiantes, deben estar contextualizados, pudiendo ser “conectados con su vida social y cotidiana”, así como hacer uso de sustancias ambientalmente amigables.

Además de la apertura, el trabajo experimental realizado en equipo, permite negociar el conocimiento con otros individuos, quienes también interpretan los fenómenos desde su propia perspectiva. Esto conlleva a una discusión cuya finalidad es mejorar el entendimiento y hacerlo más homogéneo. Este tipo de interacción quita protagonismo al

profesor, se lo otorga a los estudiantes, quienes se comparten métodos y estrategias de aprendizaje (Ramos, 2018).

1.3. La historia de la ciencia como contextualización

Las cuestiones que dan paso a la reflexión y al debate en cuanto a la inclusión de la visión histórica en la enseñanza son ¿Qué sentido tiene usar el contexto histórico a modo de plataforma del aprendizaje?, ¿por qué no mostrar directamente las definiciones y conceptos actuales de la química haciendo de lado los modelos “obsoletos”? (Chamizo y Garritz, 2005).

Para dar respuesta, existen diferentes autores que ensalzan distintas virtudes de un enfoque como es el contexto histórico. Por ejemplo, Ladenburg (1900), proponía que mirar a las ciencias exactas en retrospectiva, permite comprender lo que es aceptado en la actualidad. Al familiarizarse con las teorías precedentes, es posible comprender completamente las que son aceptadas hoy, puesto que casi siempre hay una fuerte conexión entre ellas. Este es un caso llamativo porque se trata de una observación con más de 100 años de antigüedad, y, sin embargo, sigue siendo vigente.

A la postura de Ladenburg se adhieren Wilhelm Ostwald, quien reconoce en 1908 la importancia de la historia y filosofía de la ciencia en la enseñanza; y Smith, quien hace lo propio para la química en particular. A su vez, Reinmuth, como editor de la revista *Journal of Chemical Education*, en 1932 indica que es importante mostrar la construcción de leyes y teorías científicas, mismas que no surgen de los genios como un producto acabado (Niaz, 2012). A partir de esto, Niaz (2016, p.7) cuestiona: “si la importancia de la historia de la química ha sido reconocida desde inicios del siglo XX, ¿por qué se sigue debatiendo su inclusión en los libros de texto y el currículo?”

Por otro lado, la historia contribuye a evitar las visiones distorsionadas de la ciencia, posiblemente adquiridas en el aula (Moreno y Calvo, 2019). Tal es el caso de la idea que imagina que se trata de verdades absolutas: mediante la historia es posible comprender que una respuesta “correcta”, lo es en un momento y contexto específicos, y es completamente natural que años después se considere “errónea” (Chamizo y Garritz, 2005).

Garritz (2010, p.267) va más lejos al afirmar que “la mejor manera de enseñar y aprender química es imprimiéndole un enfoque histórico-epistemológico”, porque de esta manera puede modificarse la actitud para con la actividad científica. Por otro lado, en el caso particular de los modelos y su creación, se puede lograr que el estudiante analice modelos,

considere sus limitaciones, y ejerza la crítica al ofrecerles pruebas históricas para contrastar unas representaciones contra otras, así como que pueda relacionar modelos con resultados experimentales. En esencia, se trata de integrarlos al proceso de adquisición del conocimiento, haciéndolos partícipes más íntimos.

Por supuesto, el uso de la historia no está restringido a la química. Dedes y Ravanis (2009) afirman que en su campo (la enseñanza de la física), poner en contacto a los alumnos con el origen y evolución del conocimiento, permite que conozcan la metodología de la ciencia y comprendan el alcance y la naturaleza de las teorías científicas, lo cual, a su vez provoca estudiantes más involucrados e interesados.

Puede entonces inferirse que la historia de la ciencia es una gran herramienta en cuanto a que permite la alfabetización científica mediante la enseñanza de contenidos propios de la naturaleza de la ciencia. Acevedo y colaboradores (2017) lamentan que el uso de la historia en la enseñanza científica está lejos de consolidarse como un componente clave en la educación, sin embargo, reconocen que su potencial abarca contenidos epistémicos y no epistémicos, tales como la comunicación científica, la personalidad del investigador, la política y la economía. Esto es, la naturaleza de la ciencia; son contextos que la filosofía de la ciencia considera un “continuo inseparable”.

En cuanto a un contraste con la enseñanza tradicional, Talanquer (2011) critica que el énfasis se pone en enseñar lo que ya se sabe y se deja de lado el “cómo pensar”. Señala que los estudiantes deberían poder apreciar qué tipo de preguntas se pueden responder con la química y qué maneras de pensar permiten hallar respuestas. Esto permitiría discutir acerca de la resolución de problemas de interés para los individuos y las sociedades a las que pertenecen, tenido así, trascendencia a gran escala. Es decir, se mostraría la construcción del conocimiento y su relación con áreas como la tecnología y la sociedad, así como el desarrollo del pensamiento crítico (Moreno y Calvo, 2019).

Entonces, la contextualización histórica luce como una herramienta que podría responder a estas demandas; permite comprender cómo han pensado los científicos a lo largo del tiempo, así como las maneras de pensar pertinentes para encontrar soluciones. Asimismo, posibilita que el alumno conozca los retos y problemáticas que existieron en distintos grupos humanos y el impacto que tuvo en su contexto social.

Finalmente, en relación con la enseñanza del contenido específico “leyes de los gases”, Caldin (2002) señala que es conveniente utilizar un enfoque histórico porque así se puede

ver una parte del proceso histórico y epistemológico de la química; en estas leyes científicas es visible el desarrollo gradual de la ciencia y sus modelos. Además, no se puede olvidar que el estudio de la química se basa en la interpretación de modelos acordes con los fenómenos estudiados. Estos modelos interpretativos sufren constantes cambios, porque son usados de acuerdo a las necesidades de los investigadores, según la realidad y los fenómenos que estudian y, según Raviolo y colaboradores (2010), el estudio de “casos de historia de la ciencia” constituye una estrategia en la que es posible abordar la creación de modelos con mucha claridad.

1.3.1. Desarrollo histórico de las leyes de los gases

1.3.1.1. Primeras menciones del término “gas”

En la historia de la Química, una de las primeras menciones de los gases se remonta a Joan Baptista van Helmont (1579 – 1644), discípulo de Paracelso. Van Helmont rechazaba la teoría aristotélica de los cuatro elementos y tampoco aceptaba como tal los *tria prima* de su maestro (idea que afirmaba que azufre, mercurio y “sal” eran los constituyentes de todas las sustancias) (Brock, 1998).

Van Helmont agregó dos últimos “elementos” (en este contexto, la idea de elemento tenía un sentido aristotélico, y no el que dio a conocer Lavoisier alrededor de doscientos años después): el agua y el aire, siendo éste un medio físico que no intervenía en las transmutaciones. Las sustancias “aéreas” desprendidas de las reacciones químicas, fueron nombradas por él como “gases”, del griego “*chaos*” (el término se eligió en virtud de que carecían de forma) (Brock, 1998; Martínez, 2016; Partington, 1961).

Para concluir lo anterior, Van Helmont realizó un experimento que consistió en la combustión del carbón, obtuvo una masa mucho menor que la inicial; indicó que el resto desaparecía en forma de *spiritus sylvestris* (espíritu silvestre). (Brock, 1998). Partington (1961) señala que la afirmación de Van Helmont fue “yo llamo a este espíritu, hasta ahora desconocido, por el nuevo nombre de gas, el cual no puede ser retenido en vasos, ni reducido a una forma visible” (p. 227), y, posteriormente, llegó a distinguir algunos tipos de gases producidos por diferentes procesos (i.e. combustión, de fermentación o de los eructos). Estas distinciones no necesariamente coinciden con conceptos aceptados actualmente (Partington, 1961).

Para 1660 en las universidades de Oxford y Cambridge, las ideas de Paracelso y van Helmont se consideraban “fuera de lugar”, sin embargo, quedó algo de ellas en Isaac Newton y Robert Boyle (Brock, 1998).

1.3.1.2. Robert Boyle

Robert Boyle (1627 – 1691), noble nacido en Irlanda, se estableció en Inglaterra en 1644. En los periodos de 1654 a 1659, y de 1664 a 1668 vivió en Oxford, donde fue hecho Doctor honorario en Física (Partington, 1961) y formó parte del grupo de intelectuales que fundaron la *Royal Society* en 1661.

En aquella época tomó fuerza la teoría atomista de la materia. Uno de los promotores de esta idea fue Pierre Gassendi (1592 – 1655) y Boyle se mostró de acuerdo con esta línea de pensamiento que, si bien era un compendio incoherente del atomismo, defendía la existencia del vacío y terminaría remplazando a las ideas aristotélicas (Brock, 1998). Fue en este contexto que Robert Boyle, Gassendi, e incluso Isaac Newton, especularon sobre el papel de los corpúsculos en la expansión y contracción de los gases (Aragón, 2004).

La contribución de Boyle que compete directamente a este trabajo es su aportación a la filosofía natural que constituyen sus investigaciones acerca del aire. Esto fue posible gracias a la invención de la máquina neumática, desarrollada por Otto von Guericke (imagen 1), quien extrajo el aire del interior de un globo de cobre, formándose el vacío. Se hizo una demostración en la que 16 caballos intentaron separar dos hemisferios en los que se había efectuado el vacío (imagen 2). Esto implicó que, si realmente se formaba el vacío, era una prueba contra la física de Aristóteles y a favor de la filosofía corpuscular (Brock, 1998).

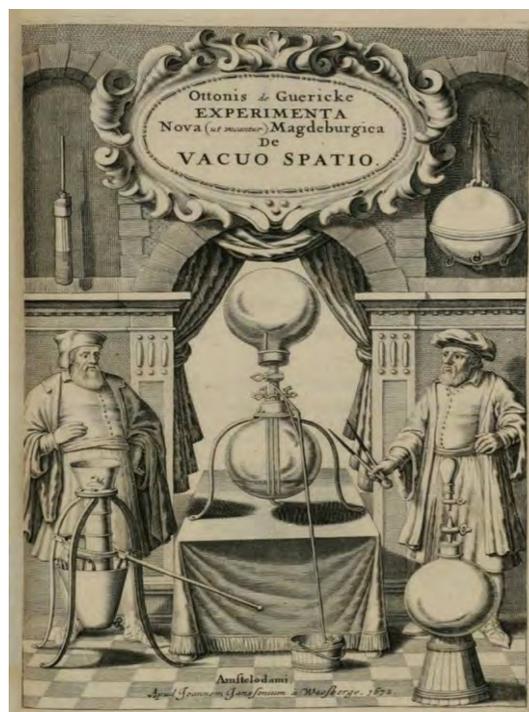


Imagen 1. Bomba de aire de Otto von Guericke (Partington, 1961; p. 516)



Imagen 2. Demostración experimental de la formación del vacío al interior de una esfera metálica, formada por dos mitades, que se intentó separar jalando con caballos.

Con el apoyo de Robert Hooke, Boyle construyó su propia máquina neumática en 1658 y con ella comenzó a investigar la naturaleza de la combustión y de la respiración. Publicó sus hallazgos en 1660 bajo el título de “*I. New Experiments Physico – Mechanical touching the Spring of the air and its Effects*” (Partington, 1961; p.492). Esta obra y algunas de las subsecuentes (que eran reediciones de la primera y respuestas a objeciones de otros investigadores) provocaron controversia y a partir de esto se desarrolló la ley que lleva su nombre (Ley de Boyle¹) que relaciona la presión con el volumen de un gas (Brock, 1998; Aragón, 2004; Partington, 1961).

Es importante aclarar que hoy en día se enuncia diciendo que “a temperatura constante, el volumen de una muestra de gas es inversamente proporcional a la presión”, sin embargo, lo que Boyle encontró para el aire es una proporcionalidad directa entre la presión y la densidad (Sellés, 1995). Miralles (2003) describe con gran detalle las experiencias de Boyle obtenidas de las traducciones de los textos originales, incluyendo datos reales.

Boyle encontró la relación entre presión y volumen, con presiones mayores y menores a la atmosférica. Para el primer caso lo hizo con un tubo en forma de U con mercurio, mientras que para el segundo, trabajó con un tubo de vidrio recto que contenía aire confinado sobre mercurio. Reportó, de acuerdo con 25 resultados que, “la hipótesis sugiere que las presiones y las expansiones tienen una proporción recíproca” (Partington, 1961; p.521).

¹ También descubierta de forma independiente por el francés Edmé Mariotte (1620-1684) (Partington, 1961; Aragón, 2004; Sellés,1995). Miralles (2003) señala que fue quince años después que Boyle, además, su enunciado era más claro, tuvo mayor difusión y especificó que la temperatura debe mantenerse constante.

Como curiosidad histórica, ocurre que los británicos se referían al vacío como *vacuum Boyleianum* (Brock, 1998); y como una postura, Boyle es reconocido como el fundador de la química moderna por tres razones: dio cuenta de que la química merece estudiarse para sí misma y no como una asistencia a la medicina, introdujo un riguroso método experimental, y dio una definición clara de “elemento”, obtenida experimentalmente, que abandonó la idea aristotélica del concepto, así como los “tres principios” de los alquimistas (azufre, mercurio y “sal”) (Partington, 1961).

Es importante señalar que Boyle no concebía el aire como una entidad química sino como un fluido elástico peculiar en el que flotaban partículas reactivas responsables de distintos fenómenos (Brock, 1998). Esta idea parece ser un precedente de las teorías atómicas surgidas muchos años después, sin embargo, más adecuadamente sería una “teoría corpuscular”, en la que Boyle incluía la noción epicureana del movimiento de las partículas como una propiedad innata, y concluyó que “el frío es una privación del movimiento local de las partículas de los cuerpos, lo cual es requisito para constituir al calor” (Partington, 1961; p.509).

Entonces, es claro que parte de la herencia química del siglo XVII consiste en que el aire se consideró como una especie químicamente interactiva y que la categoría del aire como elemento tuvo que abolirse y ser remplazada por el concepto del estado gaseoso. Así, tenemos que de esa época se desprenden algunos avances que serían importantes para, por ejemplo, la generación de Lavoisier, que descartaría la teoría del flogisto. O bien, para Dalton y su teoría atómica (Brock, 1998).

Por otro lado, es importante señalar que en pleno siglo XVII la actividad experimental era por necesidad limitada en su naturaleza, y a veces, altamente especulativa, al no contar con instrumental adecuado para la preparación y manipulación de gases, razón por la que estas ideas no pudieron hacerle frente a la teoría del flogisto, introducida por J. J. Becher (1635-1682) y extendida por su discípulo G. E. Stahl (1660-1734) (Aragón, 2004).

La teoría del flogisto podía explicar los descubrimientos de la época tanto en metalurgia como en la química neumática (o de los gases), aunque en relación con esta última no alcanzó a establecer una continuidad en sus estudios (Aragón, 2004), en cambio, permaneció la explicación de la compresibilidad del aire propuesta por Boyle, quien “comparó las partículas con pequeños resortes en espiral o diminutas esponjas, en una columna de aire siendo comprimidas por el peso de lo que tenían encima... (y subrayó que)

la presión podría ser explicada debido al movimiento de dichas partículas” (Partington, 1961, p.523).

Ya en el siglo XVIII toma bastante importancia el estudio de la química del aire y de los gases en general. Como figura culminante de este periodo, aparece Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794). Otros científicos fueron Joseph Black (1728-1799), Joseph Priestley (1733-1804) y Henry Cavendish (1731-1810), siendo este último el único que retoma someramente el trabajo de Boyle en su trabajo sobre “aire inflamable” (Aragón, 2004).

En resumen, se tiene que durante el siglo XVIII las investigaciones con gases se enfocaron en determinar su composición, su “elasticidad” (nombre dado por Boyle), las reacciones en las que participaba, así como en la obtención de evidencias que confirmaban o descartaban la existencia del flogisto.

1.3.1.3. Jacques Charles

A inicios del siglo XIX, concretamente en 1802, Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) al inicio de su carrera científica, dio a conocer los efectos de la temperatura sobre el volumen de los gases (Aragón, 2004). Particularmente encontró la proporcionalidad entre las variaciones de **volumen y de temperatura**, para una muestra dada, a presión constante, y determinó el coeficiente de dilatación (Asimov, 1975; Sellés, 1995).

Es muy relevante mencionar que este trabajo fue realizado antes por Jacques-Alexander-César Charles en 1787, aunque no lo publicó, pero sí lo compartió verbalmente con Gay-Lussac, y éste pretendió que se reconociera por ello a Charles (Aragón, 2004; Partington, 1961; Sellés, 1995). Fue así que señaló en sus “Annales de Chimie” (1802) que fue una gran suerte haberlo conocido.

Por otro lado, según Sellés (1995), la ley atribuida a Charles y Gay-Lussac, tuvo un precedente con prácticamente un siglo de anticipación. Este autor describe brevemente el experimento y señala que fue Francis Haubskée quien presentó, en 1708, en *Philosophical Transactions* de la *Royal Society*, el trabajo que mostraba una relación proporcional directa entre volumen y temperatura del aire particularmente, manteniendo constante la presión atmosférica². El trabajo de Haubskée se titula “*An Account of an Experiment touching the*

² Sellés (1995) afirma que Haubskée es muy poco reconocido por la escasa inclusión de la historia en los libros de texto, los cuales tienen el objetivo de presentar sistemáticamente los conocimientos de

different Densities of the Air, from the greatest Natural Heat, to the greatest Natural Cold in this Climate”, y fue obtenido a partir de sus experiencias con el manejo de la pólvora, sin embargo, Haubskee no pudo explicar la “pérdida” de aire cuando disminuye su temperatura (Partington, 1961); hay que entender que, en términos actuales, esta *disminución del gas* se refiere a su contracción como consecuencia de un enfriamiento.

Gay-Lussac se dio a la tarea de profundizar en los estudios de Charles. Así, publicó en 1808 el trabajo realizado acerca de la combinación volumétrica de los gases, además de sus estudios sobre la expansión de estos por efecto de la temperatura, encontrando que todos los gases se expandían de igual forma, y como consecuencia de ello se preguntaba si había alguna relación numérica en los volúmenes en que se combinan dichos fluidos (Aragón, 2004).

En este contexto experimentó con distintos gases, entre ellos, el aire atmosférico por su fácil manejo. Para determinar la expansión de estos gases usó sendos tubos, a los que les modificó la temperatura desde 60° a 100° y observó que, subiendo o bajando la temperatura, las alturas en los tubos eran iguales. Así concluyó que “tienen la misma expansión entre los mismos grados de calor” (Gay-Lussac, 1802).

Hacia 1811, Amadeo Avogadro se involucró en las investigaciones con el propósito de encontrar una explicación a las relaciones volumétricas observadas por Gay-Lussac (Aragón, 2004). También John Dalton y otros personajes participaron en el trabajo con gases, sin embargo, como señala Partington (1961), “ni Amontons ni Alessandro Volta descubrieron la ley de Charles, Dalton y Gay-Lussac, la esencia de la cual es que todos los gases se expanden en la misma proporción al calentarlos; los primeros dos obtuvieron un buen resultado para aire únicamente, pero Charles, Dalton y Gay-Lussac encontraron prácticamente el mismo coeficiente para todos los gases que ellos usaron” (Partington, 1961; p. 771). Es entonces que, desde la perspectiva de este autor, y de acuerdo con la cronología, Jacques Charles habría de ser reconocido como el primero en lograr el descubrimiento.

una disciplina. Además, no tenía el prestigio de Boyle, y en la época no había mucho interés en los estudios acerca del aire, particularmente en la Royal Society.

1.3.1.4. Joseph Louis Gay-Lussac

Con respecto a la tercera de las leyes de los gases (muy comúnmente atribuida a Gay-Lussac), misma que relaciona a las variables **temperatura y presión**, fue descubierta por el francés Guillaume Amontons en 1699 y publicada en 1702. Él demostró, en términos actuales que, al calentar un volumen constante de aire, incrementa su presión por un tercio, al pasar de temperatura ambiente, a la del agua hirviendo (Partington, 1961).

Aunque el trabajo de Amontons no es desconocido por los historiadores, suele enunciarse como “la segunda ley de Gay-Lussac”, o bien, una tercera ley que no tiene un nombre en particular. Aunque es preciso señalar que cuando Gay-Lussac la presentó, dedicó varias páginas al trabajo de Amontons (Sellés, 1995).

En términos apropiados para su época, Amontons reportó que “diferentes cantidades de aire, cargadas con pesos iguales, aumentan la fuerza de su resorte, a partir de los mismos grados de calor” (Partington, 1961; p. 771).

Martínez (2016) es otro autor que reconoce a esta ley como trabajo de Gay-Lussac y Amontons, e indica que se enuncia como “*a volumen constante, la presión de una masa fija de un gas es directamente proporcional a la temperatura.*”

Para llegar a la conclusión anterior hubo que colocar tres tubos de vidrio en forma de U, con un extremo largo y uno corto en cada uno; el extremo corto terminaba con una esfera hueca. Se colocó mercurio en cada tubo de tal manera que alcanzara el inicio de la esfera hueca (llena de aire), mientras que en el otro brazo (en el largo) la columna del metal líquido era ligeramente superior (3 pulgadas). Las esferas fueron metidas en un baño de agua que se puso a calentar. La observación fue que al aumentar la temperatura, el mercurio ascendía a la vez en todos los tubos, haciéndolo en la misma proporción (Sellés, 1995).

Entonces, en conclusión, en este experimento se observó que para diferentes cantidades de aire, al calentarlo, “empujaba” a la columna de mercurio. En términos antiguos, “aumentaba la fuerza del resorte”, actualmente se dice que aumenta la presión. Esta experiencia también demostró que había una relación de proporcionalidad entre ambas variables.

Para concluir, de acuerdo con esta investigación es evidente que las leyes de los gases (y la ciencia en general) son un constructo en el que participaron múltiples científicos, sin embargo, es bastante común encontrar que los libros de texto y el internet siguen esparciendo la idea imprecisa de que una investigación es producto del trabajo de una sola

persona, contribuyendo así a generar una visión distorsionada de la actividad científica, la cual no contempla aspectos como el trabajo colaborativo, la importancia de la comunicación de resultados, su discusión y su crítica. Es posible que la literatura del bachillerato tenga estas carencias por cuestiones de extensión o desconocimiento de los autores.

No obstante la crítica anterior, se percibe necesario acordar *quién hizo qué* con el fin de evitar confusiones en los estudiantes. Es así que puede proponerse a cada uno de los científicos que aparecen a continuación, como el personaje que *encabezó* cada investigación, y no como un autor en solitario. Entonces, dada la relevancia de los trabajos, se propone que las referencias sean como sigue:

- ❖ Ley de Boyle: aquella que relaciona la presión con el volumen del gas, a temperatura constante.
- ❖ Ley de Charles: aquella que relaciona la temperatura y el volumen del gas, a presión constante.
- ❖ Ley de Gay-Lussac: aquella que relaciona la presión y la temperatura del gas, a volumen constante.

Capítulo 2. Metodología

Tomando en consideración las investigaciones educativas y exigencias del plan de estudios más reciente, se consideró idóneo al contenido relacionado con el comportamiento del estado gaseoso y sus variables, a saber, presión, volumen y temperatura, puesto que permite abordar las habilidades de modelaje, y a su vez es posible explotar la contextualización histórica de la ciencia.

Por otro lado, esta metodología muestra que es posible trabajar otros aspectos que, aunque no son considerados objetivos fundamentales, se pueden tener en cuenta como parte de la riqueza de la investigación. Lo anterior abarca aspectos como algunas características de la naturaleza de la ciencia, por ejemplo, la revisión entre pares y la valoración del error. Además se incluye la autoevaluación, y una herramienta didáctica como el diseño experimental guiado y la consecuente obtención de datos experimentales.

Para guiar y acotar este trabajo, se propuso la siguiente cuestión, hipótesis y objetivos:

2.1 Pregunta de investigación

¿Es posible desarrollar la habilidad de crear de modelos, además de lograr aprendizaje del comportamiento de la materia en estado gaseoso, así como sus leyes, mediante una secuencia didáctica histórica?

2.2 Hipótesis

Si se aplica una secuencia didáctica con una perspectiva histórica, que involucre el modelaje como herramienta central, entonces se logrará que la mayoría de un grupo de estudiantes comprendan, expliquen y modelen el comportamiento de los gases sometidos a cambios en las variables presión (P), volumen (V) y temperatura (T).

2.3 Objetivos:

- ❖ Que los estudiantes desarrollen la habilidad de crear modelos, usando como medio para dicho fin, al estado gaseoso de la materia.
- ❖ Que los estudiantes comprendan cómo se comportan los gases sometidos a las variables presión, volumen y temperatura,
- ❖ Que los estudiantes conozcan cómo se obtuvieron los conocimientos anteriores en épocas diferentes a la actual.

2.4 Consideraciones generales para la aplicación de la secuencia didáctica:

Una recomendación dada por la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS) en el área de Química, es que si el proyecto de tesis corresponde con una secuencia didáctica a aplicarse con estudiantes, el alumno de posgrado debería incorporarse al grupo(s) de trabajo desde el inicio del año escolar, independientemente del momento en que se ejecute el trabajo de investigación. Es por ello que el sustentante, Víctor Alfonso Martínez García, fue participe de todas las sesiones de la clase correspondiente. La idea es que el profesor en formación no sea percibido como un sujeto ajeno o evaluador externo, y ocasione un sesgo en la investigación, sino que, por el contrario, sea percibido como un miembro más del grupo y forme lazos, comunicación y empatía con los estudiantes.

Cabe señalar que durante las sesiones en las que no se aplicó la secuencia, las actividades hechas por el sustentante fueron de observación, apoyo general y eventualmente colaboración en la ejecución de trabajo experimental. No se intervino sustituyendo a la profesora titular en ningún momento.

Otra recomendación dada por la MADEMS-Química es que el proyecto sea realizado, preferentemente, con estudiantes de algún profesor egresado del mismo programa de posgrado, el cual funge como “asesor externo”. Además de lo anterior, debió tomarse en cuenta que esta secuencia está diseñada dentro del marco curricular específico de la Escuela Nacional Preparatoria.

Es por lo anterior dicho que los estudiantes elegidos pertenecieron a un grupo de la asignatura "Química III" (552). Ellos cursaban el quinto grado en el plantel 1, “Gabino Barreda”, de la ENP, en el turno vespertino; en promedio, tenían 16 años. La profesora titular es la M. en D. Lilia Esther Gasca Pineda.

El horario de clase fue:

- ❖ Lunes, de las 15:20 a 17:00 horas (100 minutos);
- ❖ Viernes, de las 13:40 a 15:20 horas (100 minutos).

En este sistema de bachillerato una hora corresponde con 50 minutos. Entonces, como puede verse, el grupo de trabajo tenía dos sesiones por semana, cada una de “dos horas”, o bien, de 100 minutos sencillamente.

El número de estudiantes formalmente inscritos en el grupo 552 fue de aproximadamente 50. La gran mayoría cursaba la asignatura por primera vez y eran pocos los que la estaban repitiendo. Es importante comentar que en términos reales, la cantidad de alumnos que asistían con regularidad, era alrededor de 40 (sólo 80% del total). Se desconocen las causas de lo anterior, pero sí puede señalarse que no fue un caso exclusivo de la clase de química, y que estos niveles de ausentismo son algo común en el turno vespertino del plantel.

En cuanto a la disposición del alumnado para ser partícipes del proyecto, ocurrió que una parte de ellos se mostraron con apatía, especialmente derivado de la calendarización de las actividades y el cumplimiento de los requisitos correspondientes.

Contrastando con el trabajo realizado con su profesora, resultó un tanto demandante en cuanto a un esfuerzo extra, asistencia, puntualidad y trabajo en equipo. Puede que las características propias de la investigación para este proyecto de tesis, en que se requieren evidencias con características específicas, obtenidas “en tiempo y forma”, se tradujeran en un trabajo adicional que varios alumnos no recibieron de muy buena forma, y ello posiblemente condujo a esta situación. En pocas palabras se observó que parte de los alumnos que asistieron de forma regular, cumplieron “a regañadientes” con las actividades.

La aplicación de la secuencia didáctica fue durante parte del mes de noviembre y parte de diciembre del 2018, durante 5 sesiones consecutivas de 100 minutos (tal como se describieron previamente).

Finalmente, en cuanto a las características del aula, siempre se trabajó en un salón que más bien es un “laboratorio de enseñanza”. Bien puede decirse que es espacioso (aproximadamente unos 8 x 15 m), pero dado el número de alumnos puede resultar insuficiente en los casos en que hay hasta 60 o 65 integrantes.

El laboratorio cuenta con 15 mesas de trabajo fijadas al suelo que en ningún caso pueden moverse de su lugar original, y están dispuestas en forma paralela, una detrás de otra en 2 largas filas (una de 8 mesas y otra con 7). Tienen dos llaves de agua y dos de gas, además de tomas de corriente eléctrica. Por el tamaño y por el número de asientos (bancos de madera) puede decirse que están pensadas para 4 estudiantes por mesa, y, alrededor de éstas, la movilidad puede complicarse un poco pero no es imposible. Si se desea pasear entre las áreas de trabajo, es difícil porque a veces estorban los bancos o los mismos alumnos de adelante o atrás, y/o sus pertenencias (mochilas).

Con respecto al área del profesor, corresponde con una mesa de trabajo igual a la de los estudiantes sobre una tarima desde donde se puede apreciar con detalle más o menos la mitad de las mesas. Las del final del salón no se aprecian del todo bien. Se tiene un proyector, una pantalla para éste y un pizarrón blanco de tamaño mediano.

En cuanto a iluminación es bastante buena porque todo el salón cuenta con ventanales y cortinas negras con lo cual se puede adecuar según las necesidades.

Con respecto a la movilidad del profesor y de los propios estudiantes, puede complicarse al momento de querer realizar labores de apoyo o supervisión, especialmente en los trabajos prácticos.

En resumen, es un poco complicada la atención a todos los miembros del grupo. Si bien, no son tantos estudiantes, algunas mesas se encuentran muy lejos, y es imposible modificar su posición porque están fijadas al suelo con tornillos.

2.5 Diseño de la secuencia didáctica

Una secuencia didáctica (SD) es considerada una herramienta útil para la docencia porque organiza el proceso considerando las variables, de muy diversa índole u origen, que lo pueden afectar. Campanario y Moya (1999) las consideran como una herramienta “afortunada” para la enseñanza de la ciencia. En este sentido, Dykstra (1992) señala que cualquiera que sea la estrategia seguida, debe promoverse el aprendizaje para la comprensión e, idealmente, estimular a los alumnos para que realicen cambios en sus ideas acerca del funcionamiento del mundo.

Un modelo para la planeación de una SD bastante conocido, difundido y aceptado es el que propusieron Sánchez y Valcárcel (1993). En ella hay 5 etapas:

- i. Análisis científico
- ii. Análisis didáctico
- iii. Selección de objetivos
- iv. Selección de estrategias didácticas
- v. Selección de estrategias de evaluación

Se tomarán éstas como estructura general.

i. Análisis científico.

Es necesario comentar por qué se decidió desarrollar una SD acerca de las leyes de los gases. Este contenido en particular, a ojos de expertos en educación química, podría quedar fuera de lo que se considera “conocimientos fundamentales de la química” (es el caso de la publicación hecha por Castillejos y colaboradores, 2007), sin embargo, las leyes de los gases lucen como un conjunto de conocimientos que permiten el desarrollo de habilidades como el modelaje, a partir de un diseño experimental hecho por los propios estudiantes, introducidos en la tarea a partir de la contextualización histórica. El uso de la historia es recomendado para comprender el comportamiento de los gases y para la creación de modelos científicos; con este tipo de enfoque es posible apreciar la epistemología de la química (Caldin, 2002).

Por otro lado, podría tratarse de la culminación de una serie de temas relacionados con los gases impartidos desde la educación básica y durante el nivel medio. Es decir, se trata de lo más complejo a lo que se suele llegar en la enseñanza del estado gaseoso en la mayoría de los sistemas de bachillerato que lo incluyen en sus contenidos de química (a reserva el futuro académico que elijan los estudiantes).

Por lo anterior es importante constatar que posean los fundamentos adecuados para cimentar el conocimiento, y eventualmente, alcancen a comprender este contenido en un contexto como el que se pretende (modelaje con enfoque histórico y diseño experimental), además de que al final puedan integrar los conocimientos del estado gaseoso que persiguen desde la educación básica.

Quizá tenga mayor importancia resaltar que en esta secuencia didáctica se pretende utilizar a la ciencia como un medio y no como un fin. Esto significa que el contenido elegido (el comportamiento del estado gaseoso) es el medio para comprender algunos aspectos de la alfabetización científica: el quehacer del científico (a nivel escolar), la colaboración y evaluación entre pares, el diseño experimental, la creación de modelos y su interpretación a partir de fenómenos que pueden tener representaciones macro y microscópicas.

Entonces, para puntualizar, se tiene que los contenidos disciplinares a trabajar en esta SD son las *leyes de los gases*, es decir, el comportamiento del estado gaseoso sometido a las variables presión (P), volumen (V) y temperatura (T). En este contexto es posible que al final los alumnos alcancen a percibir algunos postulados de la Teoría Cinético Molecular (TCM) pero como tal, la TCM no figura como un objetivo de esta investigación.

Sánchez y Valcárcel (1993) sugieren que en este análisis científico se elija y se acoten los conocimientos pretendidos. Así, se tiene el contenido disciplinar mencionado, además del procedimental y actitudinal.

A modo de guía para el “análisis científico” que compete a esta SD se presentan las siguientes preguntas:

¿Cómo fue el surgimiento de las leyes de los gases, históricamente hablando? La idea es que los estudiantes conozcan el contexto histórico que dio origen a estos hallazgos. Esto es, que tomen consciencia de los conocimientos disponibles en distintas épocas, así como de los avances tecnológicos existentes y la manera de hacer ciencia, ello a su vez implica visualizar a la ciencia como una actividad humana, cargada de sesgos e intereses personales.

¿Qué características microscópicas tienen los gases? La intención sería que, a partir de las observaciones macroscópicas que pudieran tener lugar, los estudiantes formulen explicaciones (y eventualmente algunos modelos matemáticos y dibujos) en donde se refleje algún esbozo o “primer acercamiento” a los postulados de la TCM. Por ejemplo, que afirmen que hay vacío entre las moléculas de un gas, que se mueven, que ejercen presión y que, de algún modo, existe cierta relación con la temperatura.

¿Qué influencia o efecto tiene la temperatura, presión y volumen sobre los gases? De inicio, la idea es que los estudiantes reconozcan que estas variables tienen algún efecto sobre el comportamiento del gas, y que esto pudiera reflejarse en las descripciones dadas por ellos. Tal vez podrían encontrarse explicaciones como que “la temperatura altera el movimiento de las moléculas en términos de su rapidez e intensidad de los choques”.

Es importante aclarar que al principio se reflexionaría en torno a una variable a la vez para poder pasar a las siguientes preguntas.

¿Qué efecto tiene sobre los gases modificar las variables P , V y T de las siguientes formas o combinaciones?

- ❖ Cambios en la presión y volumen, manteniendo la temperatura constante (ley de Boyle). La idea es comprender que P y V guardan una relación inversamente proporcional, es decir, que a mayor presión, habrá menor volumen del gas y viceversa. Además de que en las mediciones experimentales, el producto de ambas variables arroja un valor constante.

- ❖ Cambios en la temperatura y el volumen, manteniendo la presión constante (ley de Charles). La idea es comprender que T y V guardan una relación directamente proporcional, es decir, que a mayor temperatura, habrá mayor volumen del gas y viceversa. También habrá de encontrar que el cociente formado por V entre T da como resultado un valor constante.
- ❖ Cambios en la temperatura y presión, manteniendo el volumen constante (ley de Gay-Lussac). La idea es comprender que T y P guardan una relación directamente proporcional, es decir, que a mayor temperatura, mayor presión del gas y viceversa. Además, deberá obtener de mediciones experimentales, que el cociente formado por la división de P entre T arroja un valor constante.

En este análisis científico, definitivamente no debería excluirse el comportamiento de los gases de forma holística, es decir, hay que tener en consideración que podría promoverse la reflexión acerca de qué pasa cuando se modifican las 3 variables al mismo tiempo, sin embargo, no se contempla como un contenido de esta SD para no alargarla en exceso. Aunque, si la aplicación de la misma lo exigiera (mediante preguntas, discusiones, dificultades en la comprensión o propuestas experimentales), habría que hacer mención de dicho caso.

Además del contenido disciplinar que arrojan las preguntas anteriores, hay que hacer mención de las representaciones que se pueden obtener de los 3 casos (dibujos y gráficas), así como del contenido procedimental. Habrá que ejecutar mediciones experimentales, manipulación e interpretación de esa información, es decir, se busca que los alumnos comprendan la importancia de las gráficas como un instrumento de organización de la información que permite una relativamente fácil interpretación de los datos, así como interpolar, extrapolar e inclusive su uso potencial para detectar errores (Gutiérrez, 2015).

Finalmente, se incluirá en la actividad la comunicación de resultados mediante un informe escrito obtenido de trabajo en equipo, además de la exposición de éste y consideración de las críticas de los compañeros del grupo.

ii. Análisis didáctico.

Para Sánchez y Valcárcel (1993) es fundamental tomar en consideración las ideas previas de los alumnos, así como las exigencias cognitivas del contenido que se pretende impartir, para poder obtener una SD hecha *a la medida* para el grupo específico de estudiantes.

Entonces, en esta SD se contempla realizar una exploración de los aprendizajes previos relacionados mediante un instrumento adecuado (cuestionario), el cual se diseñó tomando en cuenta las concepciones alternativas reportadas en la literatura:

Leboutet (1976) indica que se afirma que los gases carecen de peso porque tienden a flotar, por tanto, no tienen masa.

Séré (1982) reportó que existe la idea de que la presión existe sólo si el gas en cuestión se está moviendo (ej. viento). Es difícil aceptar que el gas relativamente inmóvil existe y actúa.

Según Nurrenbern (1987), suele no comprenderse que los gases ocupan el volumen completo del recipiente en el que se encuentran. Los estudiantes pueden admitir que los gases tienen un volumen indefinido, pero no usan la idea en, por ejemplo, un dibujo.

Mehmet (2012) hizo una revisión y encontró que 89 % de un grupo de estudiantes no pudo predecir correctamente el efecto en la temperatura del gas, al abrir un cilindro de gas comprimido (Beall, 1994); que las propiedades macroscópicas de un gas ideal se entendían parcialmente, además de que los modelos microscópicos eran “defectuosos” para la influencia de la presión y temperatura de un gas ideal (Kautz *et. al.*, 2005).

Yalçinkaya, en 2014, hizo también una revisión en la literatura y encontró que los estudiantes suelen presentar problemas para comprender la existencia de espacio vacío entre partículas (afirman que siempre hay más partículas, polvo u otros gases). Por otro lado pueden atribuir propiedades macroscópicas a las partículas (ej. expansión, contracción); se piensa que el aire no obedece el principio de Pascal, es decir, no ejerce la misma presión en todas las direcciones. También que las partículas de un gas están desigualmente distribuidas en un recipiente cerrado (Broock, 2003).

También se tiene que al comprimir aire en una jeringa, se mueve hacia la salida de la misma (Lee, 1993); que cuando baja la temperatura, las partículas de un gas se dirigen al fondo del recipiente que las contiene y que la mayoría de los estudiantes explican decrementos en el volumen de un gas que se enfría, no en términos de disminución del movimiento de las partículas, sino porque incrementan las fuerzas de atracción (Novick y Naussbaum, 1981).

Finalmente, Nurrenbern (1987) señala que los profesores suelen asumir que si los alumnos pueden resolver problemas numéricos, equivale a entender los conceptos moleculares.

En relación con habilidades procedimentales deben poseer cierto grado de entrenamiento manual en el laboratorio para ejecutar experimentos y hacer mediciones cuidadosas. Los estudiantes también deberían poder dibujar gráficas manualmente con el debido detalle. Podría argumentarse que en la época actual, para la elaboración de gráficas habría que considerar el uso de una hoja de cálculo, sin embargo, siempre será más nutritivo intelectualmente hablando, que el alumno trabaje y perfeccione la destreza y habilidades que implica hacer la actividad con lápiz y papel, esto es, que gradúe ejes, que encuentre necesario respetar la proporcionalidad en su representación, y que identifique y coloque adecuadamente las variables involucradas en un fenómeno.

Para concluir, en virtud de que se trata de adolescentes de 16 años en promedio, puede pensarse que ya han tenido contacto previo con los gases y son conscientes de ellos. Sin embargo, no está de sobra tener en mente ejemplos como envases presurizados y su manejo, globos de helio, entre otras para que, de ser necesario, compartirlas estas experiencias, procurando que sean comunes para la mayoría y provengan de su cotidianeidad.

iii. Selección de objetivos.

Sanmartí (2000) señala que para la selección de objetivos pueden influir las creencias del docente, es decir, lo que considera importante, así como sus valores e intereses individuales, a pesar de compartir los contenidos con otros profesores. Por ejemplo, el cuidado ambiental puede ser considerado como prioritario por sobre otros conceptos más tradicionales en la química. Sin embargo, debería coincidir con lo que Sands y Hull (1985) llaman “finalidades del aprendizaje científico”, esto es, cubrir rubros conceptuales, procedimentales y actitudinales.

Por su parte, Peterfalvi (2001) indica que los objetivos de una secuencia didáctica se deben concretar o definir con claridad a partir de las concepciones alternativas del alumnado con que se trabaja. Así, deberían basarse en identificar las dificultades y obstáculos que se pretende ayudar a superar.

Es muy claro que es fundamental tener en consideración las condiciones, saberes, carencias, contexto, habilidades, capacidades, etcétera, de los alumnos con los cuales se

trabajará ésta y cualquier otra SD, entonces, puede afirmarse que una estrategia o plan, deberá adecuarse en función del grupo de trabajo.

Es por ello que los objetivos que tiene esta SD, y que a continuación se presentan, no pueden pensarse como “rigurosos”. Es decir, podrían modificarse, idealmente en menor medida, a partir de la información obtenida en la recolección de concepciones alternativas, sin embargo, ha de procurarse que incluyan consideraciones conceptuales, procedimentales y actitudinales.

A saber, los objetivos son, que el alumno:

- ❖ Conozca la forma en la que se generó conocimiento en épocas diferentes a la actual, así como las implicaciones técnicas, sociales e intelectuales que esto conlleva.
- ❖ Comprenda las características de los gases y su comportamiento, así como genere explicaciones y modelos desde una perspectiva macro y microscópica, acerca de fenómenos en los que se involucren modificaciones en las variables presión, volumen y temperatura, y, si fuera el caso, proponga predicciones.

Además es importante señalar que como se comentó al inicio de esta metodología, a lo largo de la investigación se apreciarán aspectos como el diseño experimental guiado, la comunicación de resultados y la crítica entre pares. Estas características no podían dejarse fuera de la secuencia didáctica puesto que se pretende dar una propuesta “no tradicional”, sin embargo, se tomó la decisión de excluir dichos aspectos de los objetivos para no hacer una secuencia excesivamente larga.

iv. Selección de la estrategia didáctica

A partir de las secciones anteriores es posible pasar al diseño de las actividades en el aula. A continuación se presenta una visión general y condensada de esta secuencia didáctica. Posterior a ello, se mostrará con detalle cada aspecto de cada una de las sesiones.

Para dar a conocer el contexto histórico de las leyes de los gases, se contempla el uso de una lectura preparada específicamente para este fin. Este documento es entregado a los alumnos, de forma individual, y se presenta como ANEXO A.

Por otro lado, el modelaje también se aborda a partir de una lectura de elaboración propia. En ella se aborda la conceptualización (características, elaboración, ejemplificación,

etcétera) y se entrega a los estudiantes, de forma individual, para que posean un material que puedan consultar a lo largo de la secuencia si les pareciera necesario. Este texto se presenta como ANEXO B.

En principio se señalaba la propuesta de Driver y Scott (1996) que indica que a partir de las ideas previas y concepciones alternativas de los estudiantes en el contexto del contenido “leyes de los gases”, se plantee trabajo experimental y actividades diversas que lleven a obtener explicaciones, para luego contrastarlas con sus ideas iniciales. Es por esto que se contempla la realización de algunas preguntas tipo “pre-test *versus* post-test” para observar los posibles contrastes. Las cuestiones que se diseñaron para este fin, serán intercaladas en los distintos cuestionarios y se especificará que tienen este uso contemplado, puesto que existen otras preguntas que no forman parte del contraste referido. Este tipo de reactivos aparecen en tres cuestionarios.

En relación con el trabajo experimental, recuérdese que no es uno de los objetivos principales de esta investigación, sin embargo, en concordancia con la misma, debe ser distinto de las dinámicas tradicionales. Es por ello que se decidió que fuese semejante al que Caamaño (2003) ubica como “investigación guiada con grado de apertura igual a 2”. Esto significa que sería una actividad en la que el área de interés, el establecimiento del problema y la determinación de la estrategia están dados por el docente, mientras que la planificación y la realización corresponde al alumno. En cuanto a la interpretación de los resultados, es un componente que se haría tanto por el profesor como por los estudiantes, bien podría ser, por ejemplo, en sesión plenaria y/o con los informes experimentales escritos en láminas de exposición, de manera semejante a lo que es un cartel científico.

A continuación se muestra la secuencia didáctica dividida en sesiones describiendo cada detalle para su implementación. También se mencionan paulatinamente los distintos instrumentos a utilizar y estos, al final de la descripción de las sesiones, podrán encontrarse organizados para una mejor comprensión de los mismos.

Sesión 1, obtención de concepciones alternativas y lectura de modelaje

Duración: 100 minutos

Objetivos de la sesión:

- ✓ Conocer las ideas previas o concepciones alternativas de los estudiantes acerca de las características y comportamiento de los gases mediante un cuestionario.
- ✓ Que los alumnos conozcan el uso de los modelos científicos, así como las consideraciones para su construcción, mediante la lectura correspondiente.

Actividades (2):

PRIMERA ACTIVIDAD (40 minutos aproximadamente): Se les entregará un cuestionario (aparece como ANEXO C en este documento y de este punto en adelante se denominará Cuestionario de Introducción, “CI”) en el que se les plantea una serie de preguntas relacionadas con las características de los gases. En resumen se trata de cuestiones relacionadas con sus propiedades en general, el concepto de proporcionalidad, así como de la solicitud de una explicación acerca de lo que ocurre en un video (para mayores detalles consultar el anexo correspondiente)³.

SEGUNDA ACTIVIDAD (60 minutos aproximadamente): Se trata de la lectura que corresponde con el concepto de modelo en ciencia para que los alumnos conozcan con cierto grado de detalle qué son y cómo se elaboran estas herramientas (este texto aparece como el ANEXO B al final de este escrito y lleva por título “*Los modelos científicos: ¿qué son, cómo se hacen y para qué sirven?*”). Se contempla presentarles dibujos y también ecuaciones como ejemplos de modelos a lo largo de la lectura grupal que ha de realizarse, puesto que el mismo documento así lo solicita.

Profundizando, para la obtención de modelos matemáticos, los alumnos se involucrarán en ese proceso mediante una actividad que trata de un problema que resolverán en equipo, y luego se comentarán las respuestas en sesión plenaria. En dicha actividad se trabajan los conceptos de variable dependiente e independiente, así como relación directa e inversamente proporcional entre variables, entre otros aspectos.

³ Este cuestionario constituye la primera evidencia.

Al finalizar la lectura, se recomendará a los estudiantes que vuelvan a leerla en casa y muy especialmente, que reflexionen en torno a las actividades que realizaron en equipo, esto es, las consideraciones que hicieron para obtener un modelo matemático, así como la discusión grupal correspondiente.

Sesión 2, lectura histórica y diseño experimental guiado

Duración: 100 minutos

Objetivos de la sesión:

- ✓ Que los alumnos conozcan el contexto histórico en el que se desarrollaron las leyes de los gases, mediante la lectura preparada para tal fin.
- ✓ Que los estudiantes infieran, individualmente y en equipo, sus primeras propuestas de modelos matemáticos a partir de la información dada en el texto histórico.
- ✓ Que los alumnos diseñen un procedimiento experimental que les permita encontrar la relación entre las variables presión (P), volumen (V) y temperatura (T) de un gas.

Actividades (2):

PRIMERA ACTIVIDAD (40 minutos aproximadamente): Realizar la lectura histórica (este texto aparece como ANEXO A para este documento, y lleva por título “*¿Se puede trabajar con algo que es invisible?*”) para que los alumnos conozcan el contexto en que fueron desarrolladas las leyes de los gases, así como qué conocimientos se tenían en los diferentes momentos y, eventualmente, puedan reflexionar acerca de la influencia de aquel contexto tan amplio.

En esta lectura también se contempla la elaboración de un manómetro casero como una actividad. La idea es estimular el diseño experimental mediante la elaboración de este instrumento porque puede que haya estudiantes con poca experiencia en este tipo de problemas. El profesor intervendrá en la medida que se requiera y se contemplará la participación de todo el grupo.

Por otro lado, a la par que se presentan cronológicamente las investigaciones que derivaron en la formulación de las leyes de los gases, se pide a los estudiantes que, en cada uno de los

tres casos, propongan una ecuación que represente la conclusión obtenida por los investigadores. En este proceso de reflexión se les solicita que justifiquen sus propuestas para que así puedan discutir con sus equipos de trabajo y puedan llegar a un consenso.

Es importante recalcarles que en esta actividad, cada uno debe procurar plantear una ecuación con base en el análisis del texto y luego compararla con la de sus compañeros. Hecho esto, exponer entre ellos sus propios razonamientos para que se genere la discusión y posterior acuerdo.

Al final de la lectura histórica se deja una pregunta que pretende dar inicio al diseño experimental, proceso que llevaría a los alumnos a encontrar la relación entre las distintas variables que afectan el comportamiento de los gases.

La pregunta es *“considerando que los trabajos de Boyle, Charles y Gay-Lussac fueron hechos hace muchos años, ¿crees que sus ideas puedan seguir considerándose correctas?, ¿por qué?”*. Como se aprecia, una manera de responderla es mediante la actividad experimental.

SEGUNDA ACTIVIDAD (60 minutos aproximadamente): Para iniciar el diseño experimental, es importante tener en cuenta que es poco factible que todos los estudiantes ejecuten los experimentos correspondientes a las tres leyes que abarca esta secuencia didáctica. Por tanto se le sugiere al docente:

- a) Formar equipos de trabajo de hasta 4 integrantes (esto puede modificarse en función del tamaño del grupo). Por ejemplo, suponiendo un aula con 60 alumnos, resultarían 15 equipos.
- b) Asignar una ley por equipo. Con el ejemplo del inciso anterior, cada ley sería trabajada por 5 equipos.

Siguiendo la sugerencia planteada, al inicio de la sesión se les indica oralmente a los estudiantes que:

“Formen grupos de 4 integrantes y escriban sus nombres en el formato que se les entregó. Una vez que se hayan juntado y anotado, se les asignará un número de equipo para distribuir el trabajo.”

El formato mencionado en la instrucción anterior es el siguiente:

Propuesta de diseño experimental del Equipo #
Integrantes: 1) 2) 3) 4)
¿Qué tenemos que hacer? <i>Diseñar un experimento que nos permita determinar la relación entre _____ y _____. Para ello, proponemos:</i>

Suponiendo 15 equipos, se les indicará qué ley deberán trabajar como señala la tabla 5:

Tabla 5. Se trata de un ejemplo para una posible organización de equipos y distribución del trabajo.

Equipos	Ley asignada
<i>1 al 5</i>	<i>de Boyle</i>
<i>6 al 10</i>	<i>de Charles</i>
<i>11 al 15</i>	<i>de Gay - Lussac</i>

Para dar la instrucción oral se sugiere pedir y recalcar que:

“Los equipos 1, 2, 3, 4 y 5 deberán diseñar un experimento que les permita determinar qué relación hay entre la presión y el volumen de un gas, manteniendo su temperatura constante.”

“Los equipos 6, 7, 8, 9 y 10 deberán diseñar un experimento que les permita determinar qué relación hay entre el volumen y la temperatura de un gas, manteniendo su presión constante.”

“Los equipos 11, 12, 13, 14 y 15 deberán diseñar un experimento que les permita determinar qué relación hay entre la temperatura y la presión de un gas, manteniendo su volumen constante.”

Una vez dada la instrucción a los equipos de estudiantes, y con la finalidad de estimular el diseño experimental, se les mostrarán 3 listas de materiales que recibirán el nombre de “*caja de herramientas*”. Se distinguirán entre sí con las letras A, B y C. Esto tiene la finalidad de que se genere la discusión entre los alumnos para que decidan cuál es la más apropiada para sus objetivos experimentales. Habrá que hacer el recordatorio de que si necesitan un instrumento para medir presión (manómetro), ya cuentan con al menos uno realizado como una actividad de la lectura histórica. El manómetro no se incluye en ninguna caja con el objetivo de que ellos decidan si lo utilizarán o no.

Cajas de herramientas

Caja de herramientas “A”⁴:

- ❖ Jeringas de plástico de 1, 2, 3 o 5 mililitros de capacidad
- ❖ Una botella de plástico de 500 o 1 000 mililitros vacía y con tapa
- ❖ Agua corriente
- ❖ Tornillos grandes con masa de aproximadamente 50 o 100 gramos
- ❖ Pegamento que seque instantáneamente (ejemplo: silicón caliente)
- ❖ Una probeta de vidrio de 100 mL

Caja de herramientas B⁵:

- ❖ Hilo resistente, con 1 metro es suficiente
- ❖ Un globo de plástico pequeño
- ❖ Una regla de 30 cm

⁴ Esta caja está pensada para los equipos que trabajarán la ley de Boyle, esto es, con temperatura constante, modificando la presión y por tanto, el volumen del gas.

⁵ Esta caja está pensada para los equipos que trabajarán la ley de Charles, esto es, con presión constante, cambiando temperatura y por tanto, el volumen del gas.

- ❖ 2 tuercas o 2 tornillos o 2 clavos pequeños
- ❖ Jeringas de plástico de 5, 10 o 20 mililitros de capacidad
- ❖ Un recipiente de metal para hacer un baño María
- ❖ Pegamento que seque instantáneamente (ejemplo: silicón caliente)
- ❖ Un termómetro
- ❖ Una parrilla de calentamiento
- ❖ Un vaso de precipitados de 500 mililitros

Caja de herramientas C⁶:

- ❖ Botella de vidrio con capacidad de 500 mililitros como máximo
- ❖ Un globo de tipo salchicha
- ❖ Manguera de caucho
- ❖ Ligas
- ❖ Tapones de goma
- ❖ Un recipiente de metal para hacer un baño María
- ❖ Un termómetro
- ❖ Una parrilla de calentamiento

Una vez presentada la “caja de herramientas” se les debe indicar que:

“Discutan con sus compañeros de equipo las propuestas que vayan pensando. Cuando hayan podido llegar a un acuerdo, redacten una descripción de su experimento de forma detallada en la misma hoja donde están sus nombres y número de equipo.”

Es necesario insistir en la necesidad de atender esta actividad con los estudiantes: se debe pasar a las mesas de trabajo para supervisar los distintos diseños experimentales con la finalidad de apoyarles en la resolución de dudas y para que no se alejen del propósito experimental que se les haya asignado. Por ejemplo, puede ser necesario recalcar que la masa del gas debe mantenerse constante, es decir, en un recipiente determinado “*no puede entrar ni salir aire una vez que el experimento haya iniciado*”. También conviene recordar con regularidad durante la sesión que analicen cuál es su objetivo, es decir, qué variables (P, V o T) tienen que probar en su experimento y cómo proponen hacerlo.

Una vez que cada equipo cuente con su propuesta de diseño experimental, y ésta haya sido aprobada por el profesor, se les pedirá a los estudiantes que lo escriban en su cuaderno de

⁶ Esta caja está pensada para los equipos que trabajarán con la ley de Gay-Lussac, esto es, con volumen constante, cambiando la temperatura y por tanto, la presión del gas.

notas para que todos tengan acceso en todo momento al diseño. Los formatos que trabajaron en equipo podrían ser recolectados por el profesor para analizarlos si fuera necesario y, especialmente, para preparar los materiales necesarios para la actividad experimental.

Para terminar, ha de indicárseles a los alumnos qué materiales deben llevar desde casa y cuáles se les proporcionarán en el laboratorio. En cualquier caso, se recomienda contar con materiales adicionales en el aula para evitar que se complique la actividad debido a imprevistos o inasistencias.

Sesión 3, ejecución de la actividad experimental

Duración: 100 minutos

Objetivos de la sesión:

- ✓ Que los alumnos ejecuten la actividad experimental que diseñaron previamente.
- ✓ Que los estudiantes organicen la información obtenida de su trabajo práctico.
- ✓ Que los alumnos implementen la obtención de modelos a partir de sus datos experimentales.

Actividades (2):

PRIMERA (100 minutos): Se realizará la actividad experimental de acuerdo con lo que se programó la sesión anterior y quedó registrado en los cuadernos de notas de los estudiantes, así como en los formatos correspondientes que quedaron resguardados por el profesor.

Para que esta actividad transcurra debidamente, es sumamente importante tomar en cuenta el tiempo disponible. También resulta necesario verificar que los alumnos cuenten con todos los materiales y supervisar que el montaje sea adecuado. Además de esto, se les indicará oralmente lo siguiente:

“Hay que ser cuidadosos con todo el experimento, especialmente con las mediciones que estén realizando porque de eso depende la calidad de su trabajo. Entonces, la recomendación es que al mismo tiempo que estén haciendo su prueba, vayan haciendo un borrador de su tabla de datos y la gráfica correspondiente, de esta forma pueden detectar si hay algún problema con el experimento, o bien, pueden notar si hubiera algún dato que parezca extraño.”

Como se ve, se pide a los estudiantes que, a la par que van realizando el experimento, hagan una primera tabla de datos y la gráfica correspondiente. Una cuestión importante es ¿cuántos datos y cómo deben obtenerse? Ello dependerá mucho del diseño experimental que se vaya a ejecutar, sin embargo, la recomendación es detener la prueba al tener 5 datos. Las consideraciones aquí propuestas, se pensaron tomando en cuenta el tiempo disponible para la sesión, mismo que podría tener poco margen de maniobra para imprevistos.

Además, por ejemplo, para el caso donde se varía la temperatura y se observa su efecto sobre el volumen del gas, se puede pedir a los estudiantes que midan el volumen variando la temperatura en 10 °C. Es decir, uno de los aspectos en los que el apoyo del docente podría ser necesario, corresponde con un criterio para determinar intervalos en las mediciones de las variables.

También es muy deseable que los alumnos realicen el experimento en dos ocasiones, así que al inicio de la sesión se les indicará que *preferentemente* hagan una repetición. Para controlar esta situación, se sugiere que el docente visite las mesas de trabajo e indique a cada equipo, si fuera el caso, que el tiempo es suficiente para hacer la repetición.

SEGUNDA (ha de realizarse a la par que se ejecuta la primera actividad, por tanto, no hay un tiempo asignado): Elaboración del informe de la actividad práctica.

Para esta sesión se contempla que los alumnos obtengan sólo un *avance o esbozo* del informe. En virtud de lo anterior, para esta actividad no se requiere de algún material adicional a los que ya tienen. Por otro lado, en este momento es que se presentarán los procedimientos pertinentes para hacer las conversiones de unidades de las variables empleadas; se considera deseable que los estudiantes puedan expresar la presión en atmósferas, el volumen en litros, y la temperatura en Kelvin.

Hasta este punto contarán con su diseño experimental implementado, tabla de datos y borrador de una gráfica, entonces, como se ve, los alumnos ya cuentan con algunos

elementos de un informe convencional. Así que se les deberá indicar las características de este documento para que puedan organizar, completar y presentarlo en la sesión 4 en forma de lámina de exposición⁷.

Características del informe de la actividad experimental

Se realizará un borrador en el cuaderno de apuntes. Se trata de un trabajo en equipo y se empezará a trabajar en la misma sesión de la actividad experimental. En lo que se refiere a este avance, lo que deberá tenerse es la metodología (preparada en la sesión 2), tabla de datos y gráfica correspondiente (obtenidas en la sesión 3).

El informe final también se realizará en equipo y se escribirá en una hoja de papel bond blanca o cuadriculada de forma vertical. Es importante hacer notar a los alumnos que, al ser un trabajo grupal, deberán discutir y acordar en conjunto todo aquello que será escrito. Las características de este documento son las siguientes:

Título: Corresponde con una de las siguientes posibilidades, dependiendo del trabajo realizado por el equipo.

- ❖ Equipo # 1, relación entre presión y volumen de un gas con temperatura constante: ley de Boyle.
- ❖ Equipo # 6, relación entre volumen y temperatura de un gas con presión constante: ley de Charles.
- ❖ Equipo # 11, relación entre temperatura y presión de un gas con volumen constante: ley de Gay-Lussac.

Hipótesis: Para guiar en su generación, se puede indicar a los alumnos que es un enunciado que se obtiene al responder la pregunta *¿qué esperabas que ocurriera en tu experimento?* La estructura más común para ello, lleva las palabras “si” y “entonces”. Por ejemplo “**si** estudio suficientemente, **entonces** obtendré una buena calificación”, o bien, “**si** bajamos la temperatura del agua, **entonces** dicho líquido se congelará.”

La intención es que los estudiantes verbalicen en el informe la idea que estuvo presente desde tiempo atrás, concretamente en su diseño experimental.

⁷ Este documento constituirá la segunda evidencia de esta secuencia didáctica. Se eligió un formato que guarda cierta semejanza con un “cartel de investigación” para realizar una dinámica parecida a la que ocurre en un congreso científico (esto se explica más adelante).

Metodología: Se trata de enlistar los materiales seleccionados de la caja de herramientas y por supuesto, se debe describir de manera breve pero clara, el procedimiento seguido para el montaje del experimento. En ella debe expresarse cómo se están manipulando las variables presión, volumen y temperatura según corresponda. Puede ser útil comentar con los estudiantes que la metodología y la hipótesis deben guardar una relación de concordancia, es decir, *la metodología tiene que servir para comprobar (o desmentir) el supuesto planteado en la hipótesis.*

Resultados: Corresponde con la tabla de datos obtenida del experimento y su repetición si hubieran podido realizarlo. Como se ha indicado previamente, es deseable que incluya cinco mediciones, mismas que tendrán que ser expresadas en las unidades correspondientes. Esto es, presión en atmósferas, volumen en litros y temperatura en Kelvin.

En caso de que haya algún equipo de trabajo que no hubiera podido obtener resultados, por ejemplo, debido a dificultades en la ejecución de la actividad, se les pedirá que en la sección de resultados expliquen la razón por la cual no funcionó el experimento y qué harían, si pudieran repetirlo, para terminarlo con éxito.

Gráfica: Se trata de la representación gráfica obtenida a partir de la tabla de datos. Ésta debe ser realizada a mano en hojas de papel milimetrado (este material será proporcionado por el profesor en la aplicación de esta secuencia didáctica).

Es importante que la gráfica cuente con identificación adecuada de los ejes y que se respeten las proporciones. Además, en esta sección se deberá incluir el modelo matemático derivado de la gráfica.

A modo de **conclusiones** los estudiantes se centrarán en responder lo siguiente:

- a) *De acuerdo con el experimento que realizaron, ¿cómo es la relación entre las variables que probaron? Expliquen cómo les ayudó la gráfica para obtener una ecuación. Agreguen el modelo matemático obtenido en la gráfica, ¿creen que dicho modelo representa el comportamiento del gas? Esta pregunta puede ser útil para recordar a los estudiantes los términos “directamente” o “inversamente proporcional”. Sería recomendable sugerirles que revisen las actividades de las lecturas de modelaje e histórica y su correspondiente reflexión.*
- b) *Dibujen un modelo en el que se pueda observar cómo se imaginan que es el comportamiento de las moléculas del gas. Para ello, tomen en consideración lo que ocurrió en su experimento.*

En esta cuestión podría ser necesario mencionar que en el dibujo debe apreciarse si hay movimiento molecular o no, o bien, el efecto de calentar el gas.

c) *Previamente se hizo una lectura y discusión histórica en la que se habló del trabajo de otros investigadores (Boyle – Mariotte, Charles, Gay – Lussac), ¿están de acuerdo con las conclusiones a las que ellos llegaron? Justifiquen su respuesta basándose en sus resultados experimentales, en su gráfica y en su modelo matemático.*

En virtud de la importancia de las conclusiones, se discutirán con detalle en la sesión 4, justo en la plenaria programada después de la exposición de los informes.

En cuanto a las características del informe, mismas que aquí han sido detalladas, se darán a conocer por escrito a todos y cada uno de los estudiantes en un documento apropiado. La instrucción será que para la sesión 4 deberán llevar, por equipo, la lámina de exposición o informe con el trabajo *adelantado*, y cumpliendo los requisitos especificados.

Idealmente y sin problema alguno, deberían poder incluir en ese avance las secciones de *título, hipótesis, metodología, resultados y gráfica* con las características descritas anteriormente, es decir, sólo quedaría pendiente la obtención de conclusiones.

En relación con las conclusiones, se les pedirá que discutan con sus equipos para poder responder las 3 cuestiones que se incluyen en los incisos a, b y c, y que traten de llegar a un consenso, mismo que deberá estar escrito en el cuaderno de apuntes.

Al inicio de la sesión 4, el docente observará que las conclusiones cumplan con lo estipulado en los incisos a, b y c del documento “características del informe de la actividad experimental”, de no ser el caso, guiará a los estudiantes para que lo logren.

Es importante recordar que esta secuencia didáctica contempla una actividad experimental guiada. En virtud de que el informe es parte de esa dinámica, no puede quedar exento de supervisión, es por ello que se les dará la posibilidad de que ante alguna dificultad en la elaboración del documento, puedan acudir al docente al inicio de la sesión 4 para obtener apoyo.

Sesión 4, presentación grupal del informe de la actividad experimental

Duración: 100 minutos.

Objetivos de la sesión:

- ✓ Que los alumnos critiquen el trabajo de sus compañeros de grupo con base en los criterios y estándares establecidos.
- ✓ Que los estudiantes conozcan los resultados de los equipos que hicieron experimentos distintos, y los contrasten con los suyos.
- ✓ Que los alumnos integren, mediante una discusión grupal, la relación que hay entre cada par de variables, basándose en las actividades experimentales.

Actividades (3):

PRIMERA ACTIVIDAD (35 minutos como máximo): Se contempla que los estudiantes se presenten a esta sesión con el informe que se habrá de tener casi finalizado. El único faltante podría ser el apartado de conclusiones. Así, la actividad para iniciar la sesión 4 será la elaboración de esa sección para poder transcribirla, o bien, la resolución de conflictos que hubieran impedido llegar a un consenso en el equipo de trabajo.

La intención de esta primera actividad (apoyo en la elaboración de conclusiones principalmente) es, en esencia, la elaboración de modelos. Esto podría ser complicado para los estudiantes en función de qué tanto han realizado este trabajo explícitamente en el pasado. Por tanto, se sugiere recalcar qué es un modelo (dibujos y matemáticos) y para ello se les puede remitir a las lecturas y discusiones realizadas en la sesión 1.

Además de las dificultades asociadas a la actividad de creación de modelos, podrían presentarse las siguientes en la elaboración del informe:

- ❖ En la estructuración de la hipótesis, de ser el caso, como una guía se ha planteado previamente el uso de la estructura más común (“si... entonces...”);
- ❖ En la redacción de la metodología;
- ❖ En la presentación de resultados, particularmente en lo que se refiere a las unidades pertinentes para cada variable (atmósferas, litros y Kelvin);
- ❖ Finalmente, en relación con la gráfica, podría haber dificultades en la identificación de variables dependiente e independiente, así como en las proporciones de los ejes.

SEGUNDA ACTIVIDAD (25 minutos aproximadamente): habiéndose atendido las conclusiones y los pormenores del informe, se procederá a pegar las láminas al interior del salón, distribuidas de tal manera que puedan ser vistos por todos los estudiantes.

Oralmente se les pedirá lo siguiente:

“Acérquense a ver y analizar los informes de sus compañeros. Inicien con aquellos casos que no trabajaron para que conozcan qué ocurre al modificar otras variables distintas a las que les tocó. En algunas mesas hay tarjetas de colores verde, amarillo y rojo. Con ellas, si así lo consideran, pueden escribir y pegar críticas a los trabajos. Las verdes son para expresar que están de acuerdo con algo en particular e incluso para colocar una felicitación si lo creen adecuado; las rojas son para colocar sugerencias con el objetivo de mejorar, o decir qué habrían hecho diferente; las amarillas son para otros comentarios que no sean de las tarjetas verdes o rojas.”

Como se ve, la actividad tiene la intención de que todos los estudiantes conozcan los resultados de trabajar con variables diferentes a las que se les fueron asignadas y que observen particularmente las conclusiones a las que se llegaron. También que, eventualmente, critiquen de forma seria las áreas de oportunidad de sus compañeros.

En este “congreso en el aula” también ha de fomentarse que los estudiantes se dirijan a los responsables de cada trabajo para conocer con mayor detalle cualquiera de sus aspectos (justificación de la metodología, gráficos o conclusiones).

TERCERA ACTIVIDAD (aproximadamente 40 minutos): al finalizar la exposición, consulta y crítica de los informes, se dará lugar a una discusión grupal de los 3 tipos de experimentos realizados. El tiempo señalado para esta actividad es insuficiente para que expongan todos los equipos, además de poco práctico y muy tedioso para los estudiantes. Es por ello que ha de aclararse que la dinámica elegida es lanzar una serie de preguntas al grupo en general, pero esperando que respondan particularmente los equipos correspondientes a cada experimento. Así, se contempla que la discusión de cada ley tome unos 12 minutos, y esté basada principalmente en el trabajo de los equipos que hicieron cada investigación.

Se puede iniciar en el orden que se ha manejado en diversos momentos, esto es, empezar con el trabajo de Boyle, luego el de Charles y finalmente, el de Gay-Lussac. Se les pedirá a los alumnos que, voluntariamente, planteen su hipótesis y describan su procedimiento experimental, qué observaron y qué dificultades encontraron.

Posteriormente, se pedirá la descripción de los datos obtenidos. Es recomendable recalcar a los estudiantes que todo valor numérico debe ir acompañado de la unidad correspondiente.

Luego se pedirá que describan su gráfica y qué información pueden obtener de ella, particularmente en relación con el comportamiento del gas y las variables que trabajaron.

Para la sección de conclusiones deberán enfatizar en el modelo matemático, describir la relación entre variables, el dibujo que realizaron, así como si coinciden con los investigadores correspondientes.

Para asegurar que la discusión de cada ley abarque los puntos anteriores, pueden tomarse en cuenta las siguientes preguntas (en cursivas) y compartirlas oralmente con los alumnos:

- ❖ *Platíquenos por favor ¿qué fenómeno querían estudiar (relación entre variables) y qué **hipótesis** plantearon? De acuerdo con esta hipótesis, ¿cuál fue el **experimento** que diseñaron, tuvieron alguna dificultad?*
- ❖ *Ahora comenten ¿qué mediciones realizaron y qué **datos** obtuvieron en ellas? (sin caer en demasiados detalles).*
- ❖ *¿Cómo es la **gráfica** que resultó?, ¿qué información o características de los gases pueden obtener a partir de ella?*
- ❖ *Para **concluir**, entonces ¿cómo es la relación entre variables que probaron? Para enmarcar a los alumnos se puede cuestionar con: ¿son independientes?, ¿si una sube, la otra también; o si una sube, la otra baja? Para pasar con el modelo matemático: ¿qué hicieron para obtener su modelo matemático?, por favor platíquenos a todos sus razones y observaciones experimentales que justifiquen la ecuación que presentan. Considerando que la creación de modelos es parte medular de esta secuencia didáctica, puede ser conveniente dedicarle cierto tiempo, atención y énfasis en la discusión grupal. Han de tocarse puntos como la relación entre sus gráficas y los correspondientes modelos matemáticos obtenidos gracias a ellas. En términos hipotéticos, en esta discusión podría verse una nutrida participación de los estudiantes puesto que tienen como antecedentes la lectura de modelaje e histórica junto con sus respectivas actividades.*
- ❖ *Describan por favor el dibujo que hicieron y expliquen por qué lo hicieron así.*
- ❖ *Finalmente, ¿el trabajo de investigación que ustedes realizaron coincide con lo que encontraron Boyle, Charles o Gay-Lussac (según corresponda)?, ¿son trabajos iguales o solamente son parecidos? En este punto es de esperar que los estudiantes reconozcan que se trata de ubicaciones temporales diferentes y que mencionen, por ejemplo,*

herramientas tecnológicas totalmente distintas que hacen que “de forma” sea un trabajo diferente, pero, por otro lado, se estaría llegando a conclusiones semejantes “de fondo”.

Puede enriquecerse la discusión con, por ejemplo, la mención del concepto “resorte del aire”, mismo que ahora se pensaría como movimiento molecular. El comentario serviría para hacer notar que a través del tiempo, a un mismo fenómeno, se le puede nombrar, conceptualizar y pensar de diferentes maneras.

Se contempla aplicar esta serie de cuestiones para los 3 diferentes experimentos, preferentemente en el orden trabajado (Boyle, Charles y Gay-Lussac). Y naturalmente, puede modificarse dependiendo de lo que vaya ocurriendo en la actividad de discusión.

También es importante considerar que se debe procurar la participación del mayor número de estudiantes y/o equipos involucrados en cada fenómeno, además de que se debe dar espacio en la discusión para los equipos que pudieran haber tenido dificultades, preferentemente en el turno correspondiente, es decir, de acuerdo al experimento realizado.

Como última recomendación: en caso de que surja en la discusión alguna explicación “que haga sentido” pero que sea diferente de lo científicamente aceptado, hay que retenerla para analizar grupalmente en qué medida puede explicar las distintas observaciones. Hay que tener en consideración que, como plantean Martínez y colaboradores (1993, p. 96), “un modelo debe explicar no sólo una propiedad sino el mayor número posible de ellas y del modo más sencillo posible.”

Sesión 5, cuestionario global y retroalimentación grupal

Duración: 100 minutos.

Objetivos:

- ✓ Que los alumnos apliquen sus conocimientos en la resolución de un cuestionario final, el cual implica distintas habilidades.
- ✓ Que los alumnos construyan, mediante una discusión grupal, respuestas adecuadas para cada pregunta del cuestionario.
- ✓ Que los alumnos contrasten sus respuestas con las que se obtengan en el grupo para que integren sus conocimientos.

Actividades (2):

PRIMERA ACTIVIDAD (aproximadamente 50 minutos): Los estudiantes resolverán un cuestionario⁸ que guarda cierto parecido al Cuestionario de Introducción. Algunos enunciados y problemas que se mantienen idénticos con la intención de hacer una comparación “*pre-test versus post-test*”.

Por otro lado, también se presentan cuestionamientos nuevos. El objetivo de cada uno de estos es diferente. Por mencionar algunos ejemplos, se les solicita a los alumnos que elaboren explicaciones de distintos fenómenos y situaciones cotidianas. Además, se presentan casos donde deben señalar errores en diseños experimentales, elegir un conjunto de datos lógico para un experimento, y finalmente, la elaboración de modelos.

SEGUNDA ACTIVIDAD (50 minutos como máximo): Una vez que se ha resuelto el cuestionario final y habiéndolo resguardado, se procederá a generar una discusión grupal en la que se aborde cada una de las preguntas aplicadas. La idea es escuchar algunas respuestas para cada caso (posiblemente distintas), y a partir de éstas, llegar a un consenso general.

En esta actividad habrá de procurarse la mayor participación posible, por ejemplo, a partir de solicitar a los estudiantes distintas apreciaciones para un mismo problema o fenómeno. Como es de esperarse, habrá casos donde haya mayor dificultad. Muy particularmente puede ocurrir en la creación de modelos tanto matemáticos como dibujos, por tanto, hay que considerar dedicar un poco más de tiempo para este apartado.

2.6 Acerca de la evaluación

En cuanto a la manera de evaluar existen múltiples visiones, éstas suelen depender del tipo de enfoque que tenga la enseñanza. Incluso habiendo adoptado una estrategia, puede ser aplicada de diferentes maneras por el mismo docente, lo cual hace ver que puede ser un proceso complejo y subjetivo.

⁸ Este cuestionario constituye la tercera evidencia de la secuencia. El documento aparece al final como ANEXO D, y es nombrado como Cuestionario Final, y, considerando que hay dos aplicaciones de éste, podrán identificarse como CF1 y CF2.

No obstante en principio, la evaluación debe partir de los conocimientos previos del estudiante; es importante que estos se incorporen al proceso. También ha de buscar establecer niveles de avance en el acercamiento a los conocimientos pretendidos; la intención tendría que ser enfocarse en obtener evidencias de las etapas del aprendizaje más que sólo en los resultados o productos. Y, además, en concordancia con el nuevo discurso evaluativo, hay que incluir la auto y la coevaluación (Ahumada, 2001).

En razón de lo anterior, es necesario que una secuencia didáctica incorpore un cuestionario de diagnóstico y otro final, ambos con elementos que permitan al alumno estimar su propio avance, y en general, herramientas que permitan observar el acercamiento a los objetivos de aprendizaje en distintos momentos de la SD. Estos instrumentos se presentan a continuación, y después los criterios de evaluación correspondientes.

El **cuestionario de introducción** tiene como objetivo hacer un diagnóstico de los estudiantes, es decir, observar qué ideas ya poseen en los distintos aspectos abordados en esta secuencia, pudiendo ser concepciones alternativas o no. Por tanto, su función principal es averiguar “de dónde se parte” y, en algunas preguntas, obtener información para el contraste de tipo “*pre-test vs post-test*”. El diagnóstico del grupo es importante porque es ahí donde se pueden detectar dificultades y, eventualmente, dar estrategias para disminuirlas.

Este documento se aplica en la primera sesión y está constituido por 14 preguntas⁹:

- ❖ 5 que solicitan identificar a un enunciado como verdadero o falso y justificar la elección*
- ❖ 5 que corresponden a una autoevaluación (tipo *KPSI*)*
- ❖ 1 que solicita explicar aspectos relacionados con un globo lleno de aire
- ❖ 1 que pide representar el contenido de un globo lleno de humo y explicar su comportamiento al reventarlo*
- ❖ 1 que indaga el uso de los términos “directamente” e “inversamente proporcional”
- ❖ 1 que solicita explicar la razón por la que el tanque de una pipa se contrae cuando se encuentra bajo la lluvia

Ha de aclararse que un instrumento de tipo *KPSI* (*Knowledge and Prior Study Inventory*) es una herramienta con preguntas de tipo “¿qué tanto crees que sabes acerca de...?”. Es decir, se trata de una autoevaluación acerca de algunos aspectos del estado gaseoso. Se considera importante que los estudiantes se autoevalúen cuando se espera que tomen conciencia de

⁹ Las preguntas marcadas con un asterisco se contemplaron para el contraste “*pre-test vs post-test*”, por tanto, son preguntas idénticas en los tres cuestionarios.

los conocimientos que dominan, expliquen sus puntos de vista y puedan complementarlos entre ellos (Sanmartí y Alimenti, 2004), justamente como se contempló en la realización de las actividades experimentales, de los informes y discusiones generales. Cabe señalar que un defecto conocido de la autoevaluación es que suele presentar cierto sesgo, en mayor o menor medida dependiendo del individuo, porque éste expresa el nivel de conocimientos que *crea poseer*, lo cual no siempre coincide con el que realmente tiene (Sanmartí, 2002). Aún con cierto sesgo, el propósito de esta herramienta es que los alumnos puedan autoevaluarse, y comparar su autopercepción antes y después de la secuencia.

Además del cuestionario de introducción, el **informe práctico** se considera una herramienta importante. La obtención de éste, ocurre en la sesión 3 y 4 mediante la ejecución de las propuestas experimentales de los alumnos, bajo una serie de lineamientos que se les proporcionan. En estos, aparecen características como el planteamiento de una hipótesis, de la metodología, etcétera. De este informe se eligió específicamente la elaboración de modelos y el contraste con los trabajos históricos (de Boyle, Charles y Gay-Lussac), como productos a integrar en esta investigación. Su evaluación se especifica más adelante (tabla 6).

La última herramienta con gran importancia corresponde con el **cuestionario final**. Es el mismo documento aplicado en dos momentos diferentes: en la sesión 5, y habiendo transcurrido quince días desde la terminación de la SD.

Está conformado por 18 preguntas:

- ❖ 2 de opción múltiple acerca del concepto de modelos y ejemplos
- ❖ 5 que solicitan identificar a un enunciado como verdadero o falso y justificar la elección*
- ❖ 5 que corresponden a una autoevaluación (tipo *KPSI*)*
- ❖ 1 que pide representar el contenido de un globo lleno de humo y explicar su comportamiento al reventarlo*
- ❖ 5 que abordan distintos aspectos abordados en la SD, por ejemplo, la presión, volumen y temperatura de un gas, representaciones experimentales y gráficas, elaboración de modelos matemáticos y su significado.

En cuanto a la evaluación de las evidencias que aquí se mencionan, la regla general es contrastar las respuestas dadas por los alumnos con los objetivos pretendidos, sin embargo, en varios casos se decidió usar rúbricas como apoyo.

Una rúbrica sirve de guía para que el estudiante sepa qué y cómo se va a evaluar, así como ayudarlo a tomar el control de su aprendizaje. En cuanto al profesor, le permite definir criterios de aceptación, características de las actividades y a delimitar los objetivos de aprendizaje (Siegel y col., 2011). En estos se basan algunas descripciones de calidad y éstas sirven como una guía de las metas hacia las que los estudiantes habrían de dirigir sus esfuerzos. También permiten proporcionarles retroalimentación y, eventualmente, asignar un puntaje (Brookhart y Chen, 2015). Como puede verse, uno de los beneficios al incorporar rúbricas como una herramienta para la evaluación le otorga al estudiante cierta autonomía. Así, en cierta medida, se logra transferir al alumno el control y la gestión en su aprendizaje, lo cual constituye un principio didáctico de la intervención docente (Ahumada, 2001).

A continuación se muestra una sección que presenta los criterios de evaluación de las distintas actividades y preguntas contestadas por los alumnos (diferentes del cuestionario de introducción y de los informes “KPSI”). Esta manera de evaluar estaría siendo tomada en cuenta en la presentación del análisis de resultados.

Tabla 6. Agrupa los aspectos considerados en la evaluación de los informes del trabajo experimental. Es importante señalar que se dejó fuera el planteamiento de hipótesis y el diseño experimental, puesto que estas características no corresponden con los objetivos principales de este trabajo.

<i>Evaluación del informe de la actividad experimental</i>
<p>Evaluar la elaboración de gráficas obtenidas a partir de los resultados experimentales. Éstas deberían cumplir con:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Identificar las variables dependiente e independiente ❖ Guardar la proporcionalidad según los datos experimentales obtenidos y no partir del origen. <p>Evaluar la elaboración del modelo matemático derivado de los datos experimentales (ver tabla 8, “<i>rúbrica para modelos matemáticos</i>” y el ejemplo llamado “<i>caso A</i>”).</p> <p>Evaluar la representación (dibujo a nivel microscópico) realizada y su relación con el fenómeno experimental (ver tabla 9, “<i>rúbrica para los dibujos de los informes experimentales</i>”).</p> <p>Evaluar el contraste que hicieron los alumnos entre sus conclusiones y las obtenidas históricamente por Boyle, Charles y Gay-Lussac (contexto histórico que se les proporcionó). En este apartado deberían:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Reconocer que, basados en su evidencia experimental, llegan a las mismas conclusiones que aquellos investigadores. O bien, justificar por qué no coinciden con ellos*. <p>* Téngase en cuenta que en esta parte de la evaluación, un caso en que se indique que no coinciden con los resultados históricos, podría ser válido siempre que esta conclusión esté respaldada por la evidencia experimental.</p>

Tabla 7. Se muestran los objetivos de cada pregunta que aparece en los cuestionarios para contrastar las respuestas de los alumnos, o bien, se remite a una rúbrica en algunos casos.

Evaluación de cuestionarios finales (CF1 y CF2)	
Sección I	<p>Preguntas de opción múltiple:</p> <p>1. Evaluar que los alumnos reconozcan la opción que describa adecuadamente el concepto de modelo.*</p> <p>2. Evaluar que, basados en el concepto de modelo, los estudiantes elijan dos ejemplos de éstos y discriminen otros casos.</p> <p>*Considerando que existen distintas maneras de conceptualizarlo según los múltiples autores que han escrito al respecto, esta evaluación se hace teniendo como marco el concepto de modelo que se presentó a los estudiantes al principio de la secuencia y a lo largo de la misma.</p>
Sección II	<p>Enunciados “verdadero o falso + justificación”</p> <p>1. Evaluar que los alumnos reconozcan que los gases poseen masa porque son un ejemplo de materia.</p> <p>2. Evaluar que los estudiantes indiquen que hay espacios intermoleculares y lo relacionen con el movimiento molecular.</p> <p>3. Evaluar que los alumnos consideren que las moléculas del gas se mueven y lo asocien con la temperatura.</p> <p>4. Evaluar que los estudiantes expliquen que el volumen de un gas depende en gran medida del recipiente o contenedor.</p> <p>5. Evaluar que los alumnos identifiquen que la temperatura del gas afecta a la presión y al volumen.</p>
Sección III	<p>Informe <i>KPSI</i>, se trata de una autoevaluación hecha por los alumnos. El objetivo es que determinen cuál es el grado de acercamiento que tienen hacia distintos conceptos y habilidades que forman parte de la secuencia didáctica.</p>
Sección IV	<p>Preguntas abiertas:</p> <p>1. “Globo con humo de cigarrillo”</p> <p>a) Evaluar el dibujo que presentan los estudiantes. Para ello se hará uso de la rúbrica para el “<i>globo inflado con humo de cigarrillo</i>”: en su representación macroscópica y microscópica (ver tabla 10).</p> <p>b) Evaluar que los alumnos expliquen la expansión del humo, pudiendo detectarlo a través del olor.</p> <p>2. Tanques de hidrógeno de “la ratita” y “el gato ninja”.</p> <p>Evaluar que los alumnos reconozcan que 2 recipientes de 1 litro de hidrógeno gaseoso pueden tener diferentes cantidades del gas por la influencia de factores como la presión.</p> <p>3. “Informe sin título”</p> <p>a) Evaluar que los estudiantes, al observar de un modelo, identifiquen qué relación entre variables representa.</p> <p>b) Evaluar que los alumnos interpreten el modelo del inciso anterior, a partir de la justificación de su respuesta.</p> <p>4. Relación entre presión y volumen de un gas.</p> <p>a) Evaluar que los estudiantes, a partir de un conjunto de mediciones ascendentes de presión de un gas, señalen un conjunto de mediciones coherentes de volumen.</p> <p>b) Evaluar que los alumnos expliquen cuál es la relación entre presión y volumen de un gas, en el contexto de esta pregunta.</p>

	<p>5. Fábrica de latas de aire comprimido.</p> <p>a) Evaluar la construcción de una gráfica a partir de datos experimentales hipotéticos.</p> <p>b) Evaluar la aplicación de los términos “directamente proporcional” e “inversamente proporcional”.</p> <p>c) Evaluar la determinación de un modelo matemático a partir de datos experimentales hipotéticos. Se hará uso de la <i>rúbrica para modelos matemáticos</i> (ver tabla 8 y el ejemplo llamado “caso B”)</p> <p>6. Problema del corredor.</p> <p>a) Evaluar la determinación de un modelo matemático a partir de datos experimentales hipotéticos en un contexto ajeno a la química. Se hará uso de la <i>rúbrica para modelos matemáticos</i> (ver tabla 8 y el ejemplo llamado “caso C”).</p> <p>b) Evaluar la interpretación de una gráfica.</p>
--	--

Tabla 8. Rúbrica para los 3 modelos matemáticos obtenidos a lo largo de la secuencia didáctica. La sección de ejemplos (casos A, B y C) aparece únicamente como “comentarios para el profesor”. En cuanto a las expresiones matemáticas, naturalmente, se consideran válidas las que aparecen en esta tabla o alguna equivalente.

	Rúbrica para modelos matemáticos		
	0 pts.	1 pt.	2 pts.
Modelo matemático	No se coloca expresión matemática alguna, o bien, se presenta una que no tiene relación con el fenómeno correspondiente.	Se presenta una expresión en la que se establece, según corresponda, la proporcionalidad directa o inversa entre las variables involucradas en el fenómeno.	Se presenta la expresión matemática que relaciona las variables involucradas en el fenómeno. Ésta es una igualdad, y se llegó a ella al incluir una constante de proporcionalidad.
Caso A (ejemplos del modelo del informe experimental)	N/A	Boyle: $P \propto \frac{1}{V}$ Charles: $V \propto T$ Gay-Lussac: $P \propto T$	Boyle: $P \cdot V = k$ Charles: $V = k \cdot T$ Gay-Lussac: $P = k \cdot T$
Caso B (ejemplos del modelo del problema “latas de aire comprimido”)	N/A	$P \propto T$	$P = k \cdot T$
Caso C (ejemplos del modelo del problema del corredor)	N/A	$d \propto t$	$d = k \cdot t$

Puntaje total: ___/2 puntos

Tabla 9. Rúbrica para evaluar los dibujos de los informes experimentales (láminas de exposición). Se les solicitó a los estudiantes únicamente una representación microscópica y se les indicó que debían colocar un dibujo de “antes” y de “después” de manipular las variables que le correspondió a cada equipo.

	Rúbrica para los dibujos de los informes experimentales			
	0 pts.	1 – 2 pts.	3 - 4 pts.	5 – 7 pts.
Equipos que trabajaron la ley de Boyle (P y V)	No colocan los dibujos de “antes” y “después” de manipular las variables.	Presentan sólo un dibujo (o “antes” o “después”) y como consecuencia no se observa claramente la influencia de la manipulación de las variables.	Presentan ambos dibujos pero no se observa claramente la influencia de la manipulación de las variables: que ante cambios en la presión, no se altera el volumen.	Presentan ambos dibujos y con base en ellos, se observa la influencia de la manipulación de las variables: que al modificar la presión del gas, cambia su volumen.
Equipos que trabajaron la ley de Charles (T y V)	No colocan los dibujos de “antes” y “después” de manipular las variables.	Presentan sólo un dibujo (o “antes” o “después”) y como consecuencia no se observa claramente la influencia de la manipulación de las variables.	Presentan ambos dibujos pero no se observa claramente la influencia de la manipulación de las variables: que ante cambios en la temperatura, el volumen no cambia porque no se altera el movimiento molecular.	Presentan ambos dibujos y con base en ellos, se observa la influencia de la manipulación de las variables: que al modificar la temperatura, cambia el volumen del gas porque se altera el movimiento molecular.
Equipos que trabajaron la ley de Gay-Lussac (T y P)	No colocan los dibujos de “antes” y “después” de manipular las variables.	Presentan sólo un dibujo (o “antes” o “después”) y como consecuencia no se observa claramente la influencia de la manipulación de las variables.	Presentan ambos dibujos pero no se observa claramente la influencia de la manipulación de las variables: que ante cambios en la temperatura, la presión no cambia porque no se altera el movimiento molecular.	Presentan ambos dibujos y con base en ellos, se observa la influencia de la manipulación de las variables: que al modificar la temperatura, cambia la presión del gas porque se altera el movimiento molecular.

Puntaje total: ___/7 puntos

Capítulo 3. Resultados y análisis

3.1 De los cuestionarios

Los productos que se presentan en este apartado corresponden con:

- ❖ Cuestionario de introducción (CI).
- ❖ Cuestionario final en su primera aplicación (CF1, al final de la sesión 5).
- ❖ Cuestionario final en su segunda aplicación (CF2, es el mismo cuestionario que CF1, pero respondido dos semanas después de concluir la ejecución de la secuencia).

Dada la gran cantidad de información obtenida en este proyecto, así como la complejidad debida a los casos en los que se hacen análisis “*pre-test versus post-test*”, puede ser conveniente presentar los resultados y su correspondiente análisis **en un orden diferente al que se observa en los tres cuestionarios aplicados.**

En el caso de las preguntas “*pre-test versus post-test*”, se trata de la misma cuestión aplicada en tres momentos diferentes (CI, CF1 y CF2). En razón de ello se prefirió presentar sus respuestas como un conjunto.

Algunas preguntas sólo aparecieron en CI, y su función fue fundamentalmente de diagnóstico. Finalmente, hay cuestiones que por razones naturales sólo se aplicaron en los cuestionarios finales.

A partir de las consideraciones anteriores y para evitar confusión, se irá señalando para las distintas preguntas, en cuál de los casos descritos se encuentran.

Preguntas que aparecen únicamente en el Cuestionario de Introducción (CI)

Este apartado está constituido por tres preguntas únicamente. El instrumento “CI” está conformado por varias preguntas más, pero como también se aplicaron en los CF, se reserva su presentación para más adelante.

En la **sección III, pregunta 1 de CI:**

Inciso a: se pide a los estudiantes explicar por qué un globo se mantiene inflado todo el tiempo al llenarlo con aire. La idea más común expresada por los alumnos (30 de 39, esto es 77%) es que “*se queda así porque el aire está atrapado*” (“*encerrado*” o “*guardado*” son otros

términos que también aparecen en las respuestas). Esta idea no es incorrecta, más bien luce ciertamente intuitiva y parece evocar al volumen del gas sin utilizar dicho concepto, aunque algunas de estas respuestas sí lo mencionan explícitamente.

Por otro lado, 6 de las 39 respuestas (15%) mencionan que la presión es responsable del fenómeno. Esta respuesta es un tanto más elaborada pero su frecuencia, al menos en el cuestionario de introducción, es bastante baja.

En tanto, 1 respuesta (3% del total) indica que *“al aire está constituido por algunos elementos que le permiten mantenerse inflado y mantener su forma”*. En este caso el alumno posiblemente se basó en que como el aire es materia, debe ocupar determinado espacio. También puede inferirse que podría haber cierta confusión entre los conceptos de volumen y forma. Para esta concepción alternativa común, esta es la única respuesta que parece insinuarlo.

Finalmente, hubo 2 respuestas (5%) que evocan al movimiento molecular para justificar el fenómeno. La transcripción de una de ellas es: *“porque las partículas al estar en constante movimiento, chocan con las paredes del globo”*. Corresponde con una respuesta más elaborada, que refleja un dominio de conceptos más complejos y abstractos. Es deseable que la proporción de este tipo de respuestas aumente considerablemente.

Inciso b: indica responder que, si se le pone más aire al globo, *“¿por qué termina reventándose?”* Se obtuvo que bastantes alumnos (29 de 39, esto es 74%) respondieron que el factor responsable es la presión. Ya sea que hayan puesto *“porque hay demasiada presión”*, o bien, retomando el propio enunciado de la pregunta para colocar que *“como la cantidad de aire es demasiada aumenta la presión, y las paredes se rompen”*.

A partir de estas 29 respuestas, dadas desde el inicio en el cuestionario de introducción, puede inferirse que gran parte de los estudiantes tienen una noción acerca de la relación entre la cantidad de gas y la presión.

Por otro lado, también hubo 7 respuestas (18%) que relacionaron al fenómeno sólo con la cantidad del gas, es decir, son respuestas que hicieron poco más que parafrasear el texto de la pregunta. Una más (3%) comenta que se revienta *“porque ya no tiene aire”*, y la última (3%) se encuentra en blanco.

Finalmente, hay una única respuesta (que representa el 3%) que vale la pena presentar por su abstracción: el globo se revienta porque *“ya no podía contener más partículas, ni el movimiento de las mismas”*.

La segunda pregunta que aparece únicamente en CI tuvo como objetivo explorar el manejo de los términos *“directamente proporcional”* e *“inversamente proporcional”*, y se hizo en un contexto ajeno a la química. Conocer esta situación es importante porque en el contenido que se trabaja en esta investigación, aparecen dichos términos con bastante frecuencia cuando se utilizan como una herramienta que describe las relaciones entre las variables involucradas, es decir, son una especie de andamiaje con relevancia en la creación de modelos matemáticos y su comprensión.

Los resultados encontrados a partir de la aplicación del cuestionario de introducción a los 39 alumnos se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Se observa la frecuencia de las interpretaciones dadas a los términos “directamente” e “inversamente proporcional”. Aparece el número de alumnos y el porcentaje que corresponde considerando un total de 39 cuestionarios. En las interpretaciones incorrectas se incluyen las 3 respuestas en blanco que se obtuvieron.

Términos	Interpretan correctamente		Interpretan incorrectamente	
	No. alumnos	% alumnos	No. alumnos	% alumnos
<i>“directamente proporcional”</i>	23	59	16	41
<i>“inversamente proporcional”</i>	10	26	29	74

Como puede verse, es mucho más común que se exprese correctamente el significado del término *“directamente proporcional”* (59 %), en tanto, para *“inversamente proporcional”*, únicamente un 26 % de los alumnos lo utiliza correctamente en sus respuestas.

En cuanto a concepciones alternativas se encontró que algunos estudiantes (3) expresaron que *“directamente proporcional”* puede significar *“cantidades iguales”*.

La detección de esta situación en el cuestionario de introducción permitió tomar acciones posteriores para aclarar el significado de estos términos. Así, en los informes experimentales y cuestionarios finales hubo muy poca prevalencia de errores (esto se mostrará más adelante).

La tercera y última pregunta que sólo aparece en CI se basó en la proyección de un video y tiene dos incisos. En él, se presenta una pipa que presumiblemente contiene aire. Este gran

recipiente se encuentra en un lugar en el que está lloviendo y en determinado momento se observa que se contrae bruscamente. El fenómeno anterior ocurre debido al descenso en la temperatura al interior, lo cual hace imposible mantener la presión, y entonces, la presión atmosférica termina aplastando las paredes.

En el **inciso a**, se pidió a los estudiantes que describieran lo que observaron. Se obtuvo que la mayoría identificó al fenómeno como una “*compresión*” o “*contracción del contenedor*” (o verbos semejantes). Entonces, por lo que se refiere a la observación del material audiovisual puede decirse que, hasta este punto, fue interpretado correctamente por los estudiantes. Hubo únicamente una respuesta (3%) que estaba relativamente alejada de lo que ocurrió, pues afirma que “*se observa un submarino que explota*”. También se encontró una respuesta en blanco (3%).

Por otro lado, en el **inciso b**, se pide que los alumnos expliquen lo que observaron. Se encontró que la respuesta principal está relacionada con “*la salida repentina del aire/gas que contiene el tanque*” (20 de 39 respuestas, esto es 51%), es decir, la explicación más común se relaciona con variaciones en la cantidad del gas, lo cual llama la atención porque en el video no hay indicios de gases escapando, menos aún de forma instantánea. En menor frecuencia (13 respuestas de 39, esto es 33%) aparecen ideas que agregan la influencia de la presión, pero los cambios en ésta fueron justificados por los estudiantes con la pérdida de gas mencionada anteriormente. En unos cuantos casos de los 33 descritos anteriormente, mencionan explícitamente la formación/aparición de vacío, pero siempre asociada a las variaciones en la cantidad de la cantidad de gas.

En las 6 respuestas restantes, 2 (5%) explican el fenómeno basándose en “*una explosión*”, 1 (3%) reconoce que no tiene elementos para explicarlo, 1 (3%) lo relaciona con “*una reacción que consume el oxígeno que hay al interior*”, 1 (3%) dice que “*el tanque fue aplastado*” y la última (3%) es una respuesta en blanco.

Vale la pena destacar una respuesta cuya transcripción literal es: “*la presión adentro es menor que la del exterior, haciendo que la del exterior aplaste el contenedor como una igualación de la presión atmosférica*”.

Para esta pregunta, de manera general, es claro que hay bastantes estudiantes que explican que cambia la presión y/o el volumen cuando se comprime el tanque, sin embargo, lo ven asociado a la extracción del gas y ninguno mencionó la influencia de la temperatura

(tampoco la respuesta que se transcribió). Entonces, detectan cambios en presión y en volumen pero no por la influencia de la temperatura.

Preguntas bajo la modalidad “contraste pre-test versus post-test”

Se iniciará este apartado con la **sección I** del CI, esto corresponde con cinco enunciados, organizados en una tabla, y los alumnos debieron identificarlos como verdadero o falso y justificar su respuesta. En virtud de que el mismo conjunto de preguntas aparece en los tres cuestionarios, se considera una pregunta tipo **“pre-test versus post-test”**. A continuación se presentan los resultados del CI, pero también de CF1 y CF2 para poder hacer el contraste correspondiente. Téngase en cuenta que, en el caso de la aplicación de CI, además de posibilitar el contraste mencionado, permitió conocer el estado inicial de los alumnos, y, eventualmente, la obtención de sus concepciones alternativas.

Para cada una de las tres aplicaciones se obtuvo un número de cuestionarios contestados ligeramente diferente: **39, 42 y 40 cuestionarios contestados** en CI, CF1 y CF2 respectivamente. Así, para cada enunciado existen dichas cantidades máximas de respuestas. Tomando como ejemplo el enunciado 1, se obtuvieron 39 respuestas en la primera aplicación, 42 en la segunda, y 40 en la tercera. La misma situación se tiene en los otros 4 enunciados.

Enunciado 1. Los gases carecen de masa

Afirmación falsa

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de respuestas que indican que el enunciado es falso en las tres aplicaciones del cuestionario:

Tabla 12. Se muestra la cantidad de respuestas que identificaron correctamente como “falso” al enunciado en cuestión. Este número de respuestas está referido al total de cuestionarios obtenidos en cada aplicación.

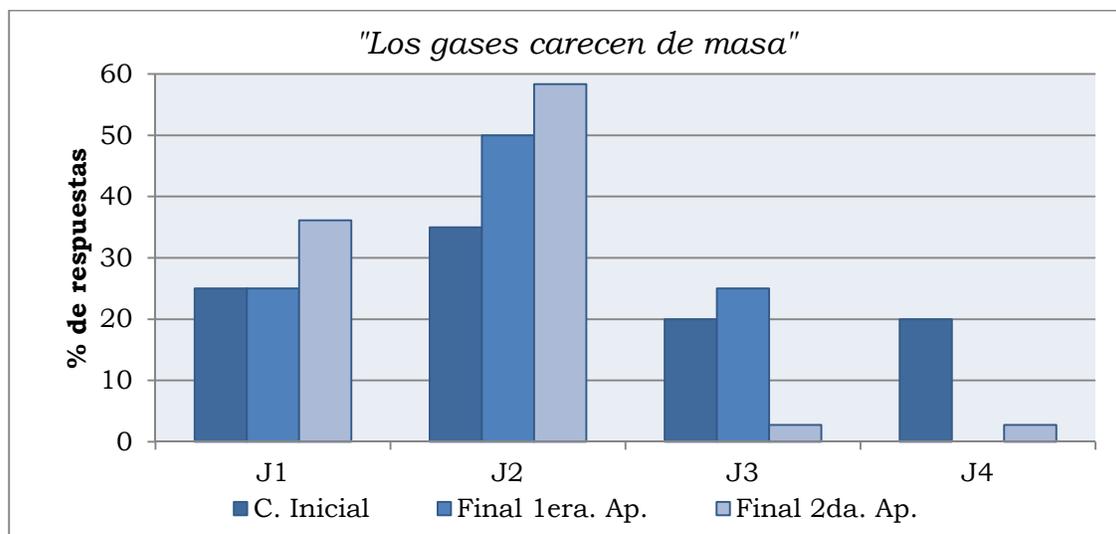
Cuestionarios	No. de respuestas que señalan al enunciado como FALSO
Cuestionario inicial (CI)	20 de un total de 39
Cuestionario final 1era aplicación (CF1)	28 de un total de 42
Cuestionario final 2da aplicación (CF2)	36 de un total de 40

A partir de este punto, se considerarán las 20, 28 y 36 respuestas que indican que el enunciado es falso como un 100% para sus respectivas aplicaciones, y así poder proseguir con el análisis de las justificaciones. La clasificación de éstas se muestra a continuación:

Tabla 13. Muestra la clasificación que se hizo de las justificaciones obtenidas. En cursivas aparece la idea “deseable”. Los encabezados, 20, 28 y 36 respuestas, corresponden con el 100% de identificaciones falsas encontradas en cada aplicación de este enunciado; en cada casilla aparece el número de alumnos que dieron cada justificación, y su porcentaje en relación con los totales dados en la parte superior de la tabla.

Etiqueta	Descripción de las justificaciones	CI (20 resp.)	CF1 (28 resp.)	CF2 (36 resp.)
J1	J. que únicamente señalan que los gases presentan masa	5 (25%)	7 (25%)	13 (36%)
J2	<i>J. relacionadas con que los gases son un ejemplo de materia</i>	7 (35%)	14 (50%)	21 (58%)
J3	J. que se apoyan en el concepto de volumen para hablar de la masa del gas	4 (20%)	7 (25%)	1 (3%)
J4	Otras justificaciones	4 (20%)	0 (0%)	1 (3%)

La frecuencia de estas respuestas se muestra en la gráfica 1:



Gráfica 1. Se observa la frecuencia en porcentajes de cada justificación (J1, J2, J3 y J4) a lo largo de las 3 aplicaciones del cuestionario.

En relación con las **concepciones alternativas** detectadas en esta SD se tiene que había confusión entre los conceptos de peso y masa. Hubo ideas como “los gases no tienen masa porque no pesan”. También justificaban la veracidad del enunciado apelando a la tangibilidad y a la carencia de forma. Hubo respuestas como “(los gases carecen de masa)

debido a que no se pueden tocar”, o bien, “(carecen de masa) porque no tienen una forma definida y se miden por volumen, no por peso”. Más aún, algunas respuestas señalan que “están constituidos por átomos pero están tan separados que no tienen masa”.

Hacia el final de la SD (CF1 y CF2), se logró que muchos de los estudiantes reconocieran que la masa es una propiedad de los gases porque son materia. La idea más común, expresada con éstas u otras palabras, es que *“los gases son materia, por tanto, tienen masa y volumen”*. En contraste con el cuestionario de introducción, una idea semejante fue planteada por sólo 3 estudiantes. Por otro lado, retomando el cuestionario final, aparecieron justificaciones como *“los gases tienen ambas propiedades”* (en relación con los conceptos de masa y volumen), así como *“un ejemplo es cuando inflas un globo, entre más lo inflas, más va a pesar”* y *“los gases tienen partículas”*.

Ahora considérense únicamente las respuestas que señalan al enunciado como falso. Analizando las justificaciones de los estudiantes, se pudo determinar cuántas son correctas y cuántas incorrectas. Así, se tiene que:

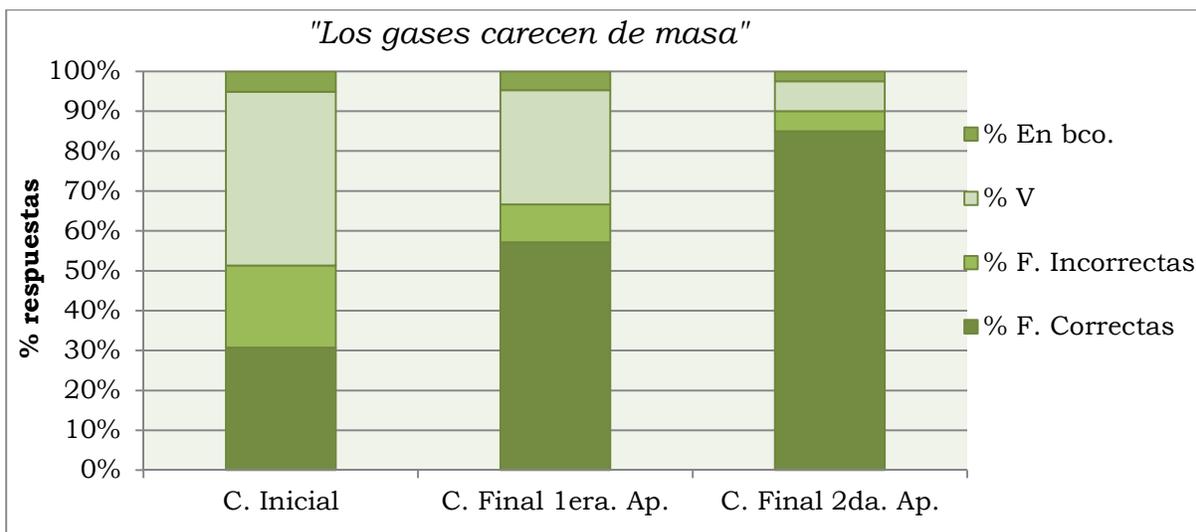
Tabla 14. Para las respuestas que identificaron al enunciado como falso, se analizaron sus justificaciones y se muestra la cantidad de ideas consideradas correctas e incorrectas. Recuérdese que 20, 28 y 36 se consideran el 100% por ser éstas las identificaciones “falsas” del enunciado.

	CI (20 falsas)		CF1 (28 falsas)		CF2 (36 falsas)	
Falsas	Correctas	12 (60%)	Correctas	24 (86%)	Correctas	34 (94%)
	Incorrectas	8 (40%)	Incorrectas	4 (14%)	Incorrectas	2 (6%)

En la tabla 14 se muestra cuántas respuestas correctas se encontraron para este enunciado en las 3 aplicaciones. Una respuesta considerada “correcta” ha de cumplir con haber señalado al enunciado como falso, y además, justificar la elección con una idea relacionada con la falsedad del mismo (estas justificaciones son las que se clasificaron y se mostraron previamente). Puede verse que a lo largo de esta investigación, se pasó de un 60% de respuestas correctas, hasta un 86% según la aplicación de CF1. Con la sesión de retroalimentación y, habiendo pasado 2 semanas de ésta, no sólo se mantuvo sino que se alcanzó un 94% de efectividad.

Finalmente, en la gráfica 2 se muestran los datos de la tabla anterior, pero referidos a la totalidad de respuestas obtenidas (39, 42 y 40 respectivamente para CI, CF1 y CF2). Se decidió así para mostrar la evolución grupal que se logró en la SD. Entonces, tómesese en

cuenta que se incluyen las respuestas que señalaron al enunciado como verdadero, o bien, aquellas que fueron dejadas en blanco o justificaron incorrectamente:



Gráfica 2. Se observa la frecuencia en porcentaje de las respuestas en blanco, las que indicaron que el enunciado es verdadero, las que señalaron al enunciado como falso pero no justificaron adecuadamente, y las que lo identificaron como falso y justificaron correctamente. Los datos corresponden a las 3 aplicaciones del cuestionario.

Como puede verse, se logró pasar de un 30 % de respuestas correctas en el cuestionario de introducción, hasta poco menos de 60 % en el cuestionario final en su primera aplicación. Esta proporción aumentó, después de la retroalimentación que hubo con los estudiantes, para terminar en aproximadamente 85 %.

En la mayoría de las respuestas correctas (21) de la última aplicación se afirma que *“los gases sí poseen masa porque son un ejemplo de materia”*; en segundo lugar de frecuencia (12) aparecen las ideas sencillas que solamente afirman que los gases sí tienen masa. Estas 33 respuestas constituyen el 85% observado en la gráfica 2, barra del CF2.

Por otro lado, se logró que hubiera únicamente 3 respuestas señalando al enunciado como verdadero, y sólo una de ellas justifica diciendo que *“los gases sí tienen volumen pero no masa”*.

Enunciado 2: Los gases están constituidos por partículas muy pequeñas (átomos o moléculas) y hay grandes espacios vacíos entre ellas.

Afirmación verdadera

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de respuestas que indican que el enunciado es verdadero en las tres aplicaciones del cuestionario:

Tabla 15. Se muestra la cantidad de respuestas que identificaron correctamente como “verdadero” al enunciado. Este número de respuestas está referido al total de cuestionarios obtenidos en cada aplicación.

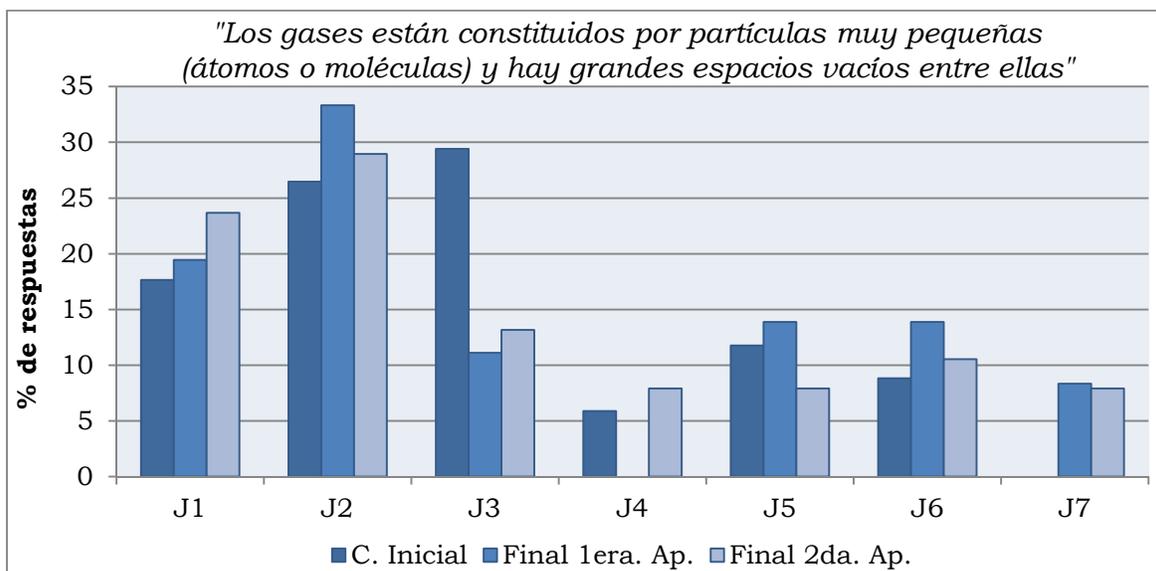
Cuestionarios	No. de respuestas que señalan al enunciado como VERDADERO
Cuestionario inicial (CI)	34 de un total de 39
Cuestionario final 1era aplicación (CF1)	36 de un total de 42
Cuestionario final 2da aplicación (CF2)	38 de un total de 40

Desde este punto se considerarán las 34, 36 y 38 respuestas que indican que el enunciado es verdadero como un 100% para sus respectivas aplicaciones, y así poder proseguir con el análisis de las justificaciones. La clasificación de éstas se muestra a continuación:

Tabla 16. Muestra la clasificación que se hizo de las justificaciones obtenidas. En cursivas aparece la idea “deseable”. Los encabezados, 34, 36 y 38 respuestas corresponden con el 100% de identificaciones verdaderas encontradas en cada aplicación de este enunciado; en cada casilla aparece el número de alumnos que dieron cada justificación, y su porcentaje en relación con los totales dados en la parte superior de la tabla.

Etiqueta	Descripción de las justificaciones	CI (34 resp.)	CF1 (36 resp.)	CF2 (38 resp.)
J1	J. que sólo indican que los gases están formados por partículas y/o señalan la existencia de espacios intermoleculares	6 (18%)	7 (19%)	9 (24%)
J2	<i>J. que se basan en el movimiento molecular</i>	9 (26%)	12 (33%)	11 (29%)
J3	J. que hacen referencia a otros estados de agregación (contrastando)	10 (29%)	4 (11%)	5 (13%)
J4	J. basadas en que “los gases tienen forma indefinida”	2 (6%)	0 (0%)	3 (8%)
J5	J. basadas en que “los gases tienen volumen indefinido”	4 (12%)	5 (14%)	3 (8%)
J6	Otras justificaciones	3 (9%)	5 (14%)	4 (10%)
J7	J. basadas en el efecto de la temperatura sobre el gas	0	3 (9%)	3 (8%)

La frecuencia de estas respuestas se muestra en la gráfica 3:



Gráfica 3. Se observa la frecuencia en porcentajes de cada justificación (J1, J2, J3, J4, J5, J6 y J7) a lo largo de las 3 aplicaciones del cuestionario.

En relación con las **concepciones alternativas** halladas en este enunciado, se tiene que se afirma que *“el vacío no existe en espacios comunes”*, que *“los gases tienen sus partículas juntas”*, o bien, que *“tiene que haber espacios vacíos entre las moléculas porque si chocan, como se trata de un gas, puede generarse una explosión”*. Es importante comentar que parte de las justificaciones no son propiamente erróneas, algunas de ellas apelan a hacer un contraste con otros estados de agregación. En este sentido, también apareció otra concepción alternativa, ésta indica que *“sólo los sólidos carecen de espacio entre partículas”*.

No todos estos contrastes con otros estados de agregación son concepciones alternativas. Aparecieron ideas como *“ya que cada estado físico de la materia está distribuido de una forma distinta. Esto es lo que ocasiona que sea sólido, líquido o gaseoso”* (corresponde con la justificación 3 en la tabla 16 y la gráfica 3). Es importante resaltar este tipo de ideas porque apareció aproximadamente en un 30 % de las respuestas del cuestionario inicial, e indica que los estudiantes necesitaron recurrir a conocimientos previos para dar una explicación de la veracidad del enunciado.

Hacia el final de la secuencia (CF1 y CF2), los estudiantes redujeron a un tercio la incidencia del contraste con otros estados de agregación para generar explicaciones. El ligero aumento en la justificación número 1 (la idea más simple) podría explicarse a partir del abandono del contraste mencionado. Por otro lado, la justificación más común es la que

apela al movimiento molecular, misma que, si bien ya se había manifestado desde el cuestionario de introducción, se logró mantener presente y aumentar un poco para la última aplicación del cuestionario. También al final de la SD, como es natural, aparecieron ideas que relacionaron la veracidad de este enunciado con la temperatura del gas. Aparecieron ideas como *“dependiendo de la temperatura, es el movimiento de las moléculas”*, o bien, *“hay más espacio cuando la temperatura aumenta”*.

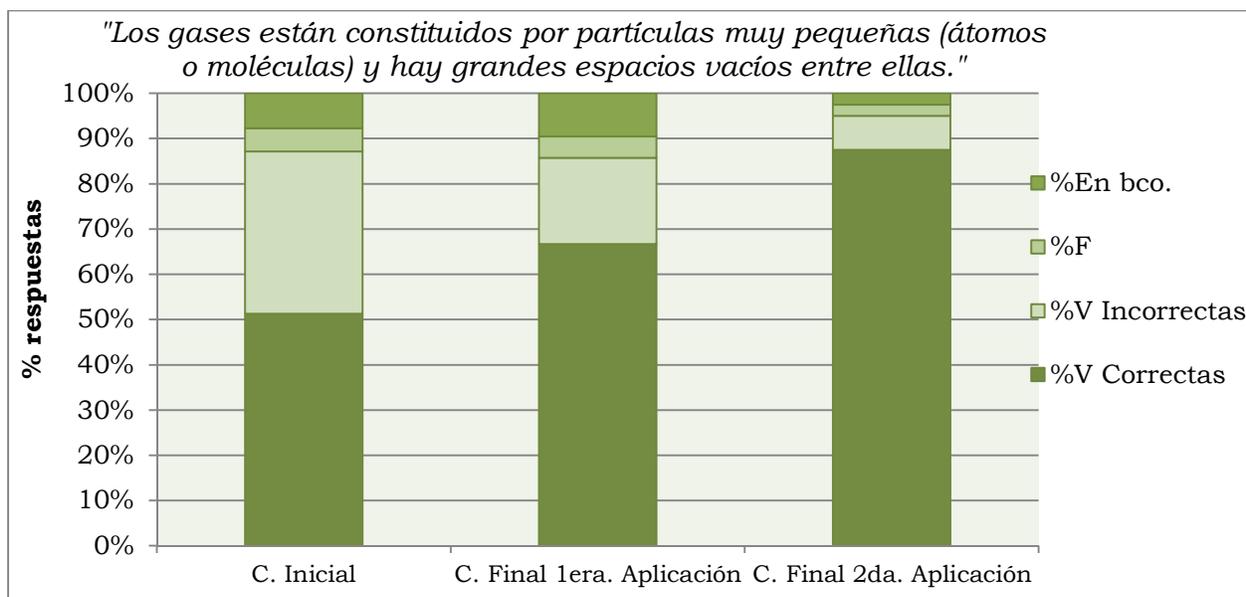
Por otro lado, si se consideran únicamente las respuestas que señalan al enunciado como verdadero, se puede proceder con el análisis de las justificaciones de los estudiantes. Así, se pudo determinar cuántas son correctas y cuántas incorrectas. Se obtuvo que:

Tabla 17. Para las respuestas que identificaron el enunciado como verdadero, se analizaron sus justificaciones y se muestra la cantidad de ideas consideradas correctas e incorrectas. Recuérdese que 34, 36 y 38 se consideran el 100% por ser éstas las identificaciones “verdaderas” del enunciado.

	CI (34 verdaderas)		CF1 (36 verdaderas)		CF2 (38 verdaderas)	
Verdaderas	Correctas	20 (59%)	Correctas	28 (78%)	Correctas	35 (92%)
	Incorrectas	14(41%)	Incorrectas	8 (22%)	Incorrectas	3 (8%)

En la tabla 17 se muestra la frecuencia de respuestas correctas, esto es, aquellas que identificaron como verdadero al enunciado y además, dieron una justificación adecuada, misma que cae en alguno de los “tipos de justificación” presentados anteriormente. Puede notarse que, si bien la frecuencia de las justificaciones se mantuvo semejante en los 3 cuestionarios (ver tabla 16 y su gráfica correspondiente), el porcentaje de respuestas consideradas correctas aumentó considerablemente al pasar de 59% a un 92%, tal como se observa en la tabla 17.

Finalmente, en la gráfica 4 se muestran los datos de la tabla 17, aunque ahora se integra la totalidad de las respuestas obtenidas (39, 42 y 40, según CI, CF1 y CF2). De esta manera se puede observar el avance grupal logrado. Esto significa que también aparecen las respuestas en blanco, identificaciones como “falso” del enunciado, o bien, las que lo marcan como verdadero, pero justifican de manera no adecuada:



Gráfica 4. Se observa la frecuencia en porcentaje de las respuestas en blanco, las que indicaron que el enunciado es falso, las que señalaron al enunciado como verdadero pero no justificaron adecuadamente, y las que lo identificaron como verdadero y justificaron correctamente. Los datos corresponden a las 3 aplicaciones del cuestionario.

Según la gráfica 4, para CF2 se alcanzó casi un 90 % de respuestas correctas (35 casos). Dentro de éstas, la idea más común (11 justificaciones) es la que relaciona al enunciado con el movimiento molecular (J2), esto es que *"al moverse, se generan los espacios vacíos entre las moléculas"*. En segundo lugar de frecuencia (9 justificaciones) aparece la idea que parafrasea al enunciado (J1). Los 35 casos que constituyen el 90% señalado se completan con los otros tipos de justificaciones.

De estos, vale la pena transcribir un par de respuestas, mismas que demuestran cierto grado de integración con la actividad experimental:

"No podemos ver el gas pero sí existen espacios entre ellas y al aumentar la presión pueden juntarse estas partículas y lo vimos en las representaciones de los experimentos que vimos."

"Cuando no hay tanta presión éstas se expanden y cuando la presión aumenta, se juntan un poco más."

Enunciado 3. Las partículas de los gases no se mueven, ni chocan entre sí mismas o con las paredes del recipiente que las contiene, es decir, son estáticas.

Afirmación falsa

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de respuestas que indican que el enunciado es falso en las tres aplicaciones del cuestionario:

Tabla 18. Se muestra la cantidad de respuestas que identificaron correctamente como “falso” al enunciado en cuestión. Este número de respuestas está referido al total de cuestionarios obtenidos en cada aplicación.

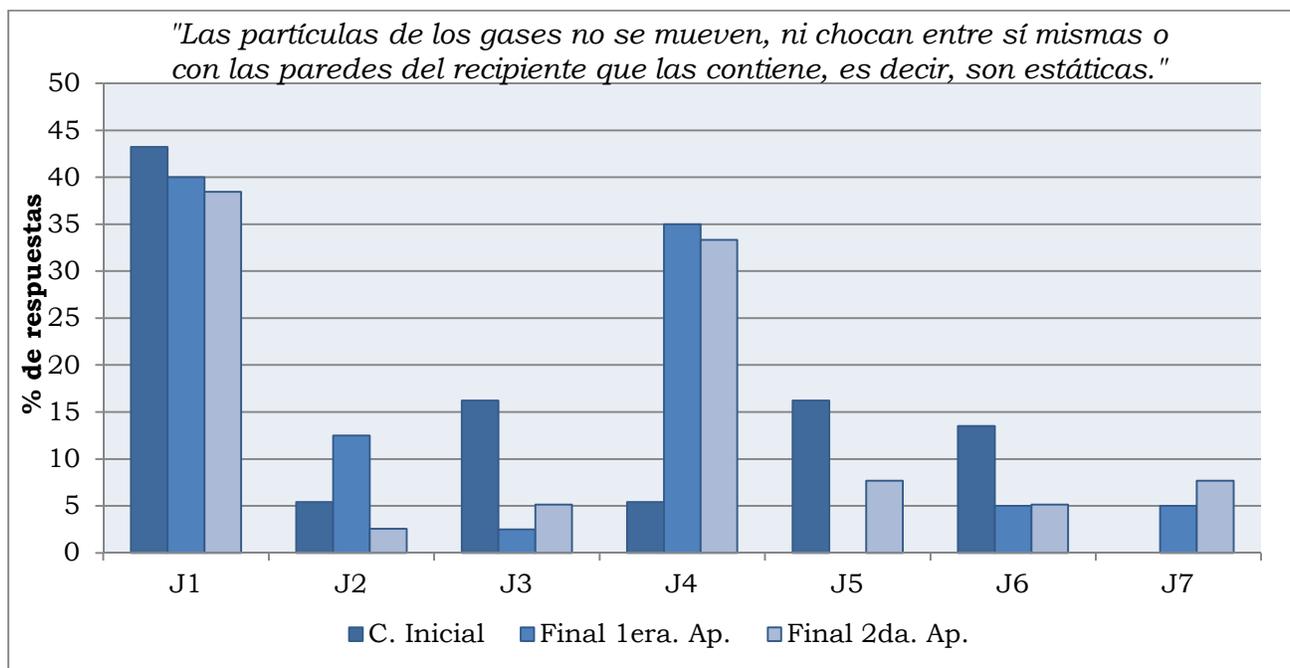
Cuestionarios	No. de respuestas que señalan al enunciado como FALSO
Cuestionario inicial (CI)	37 de un total de 39
Cuestionario final 1era aplicación (CF1)	40 de un total de 42
Cuestionario final 2da aplicación (CF2)	39 de un total de 40

A partir de este punto, se considerarán las 37, 40 y 39 respuestas que indican que el enunciado es falso como un 100% para sus respectivas aplicaciones, y así poder proseguir con el análisis de las justificaciones. La clasificación de éstas se muestra a continuación:

Tabla 19. Muestra la clasificación que se hizo de las justificaciones obtenidas. En cursivas aparece la idea deseable. Los encabezados, 37, 40 y 39 respuestas, corresponden con el 100% de identificaciones falsas encontradas en cada aplicación de este enunciado; en cada casilla aparece el número de alumnos que dieron cada justificación, y su porcentaje en relación con los totales dados en la parte superior de la tabla.

Etiqueta	Descripción de las justificaciones	CI (37 resp.)	CF1 (40 resp.)	CF2 (39 resp.)
J1	J. que sólo afirman que hay movilidad y/o choques moleculares	16 (43%)	16 (40%)	15 (38%)
J2	J. basadas en la existencia de vacío o “espacios”	2 (5%)	5 (12%)	1 (3%)
J3	J. que relacionan el movimiento molecular con la expansión/cambios en el volumen del gas	6 (16%)	1 (3%)	2 (5%)
J4	<i>J. que relacionan el movimiento molecular con la temperatura del gas</i>	<i>2 (5%)</i>	<i>14 (35%)</i>	<i>13 (33%)</i>
J5	J. basadas en un “contraste” con otros estados de agregación	6 (17%)	0 (0%)	3 (8%)
J6	Otras justificaciones	5 (14%)	2 (5%)	2 (5%)
J7	J. que relacionan el movimiento molecular con la presión	0 (0%)	2 (5%)	3 (8%)

La frecuencia de estas respuestas se muestra en gráfica 5:



Gráfica 5. Se observa la frecuencia en porcentajes de cada justificación (J1, J2, J3, J4, J5, J6 y J7) a lo largo de las 3 aplicaciones del cuestionario.

En relación con las **concepciones alternativas** obtenidas, afirmaron que *“como las moléculas se mueven mucho, por eso los gases pesan poco”*, que *“al tener espacio entre las moléculas, entonces se pueden mover”* (respuesta que no considera la influencia de la energía), también que *“la presión es responsable de mover a las moléculas del gas”* y que *“como son pocas moléculas, entonces por eso se mueven mucho”*.

Para el final de la secuencia (CF1 y CF2) se logró disminuir ligeramente el uso de las ideas que únicamente parafrasean al propio enunciado (J1). Pero, por otro lado, se aumentó de manera considerable la cantidad que justificaciones que señalan que el movimiento molecular se relaciona de algún modo con la temperatura del gas. Este puede considerarse el principal logro para esta pregunta, aunque alcanzó únicamente una tercera parte de las respuestas. Se obtuvieron respuestas como *“entre más temperatura tengan los gases, más rápido se mueven”*, *“las moléculas de los gases se mueven más rápido o lento dependiendo de la temperatura”*, o bien, *“al aumentar la temperatura de un gas, las partículas se mueven y aumenta el volumen”*.

Finalmente, también se pudo disminuir a cero la recurrencia a hacer un contraste con otros estados de agregación, aunque esta justificación apareció nuevamente, en tres respuestas únicamente, pasados quince días de la aplicación de la SD.

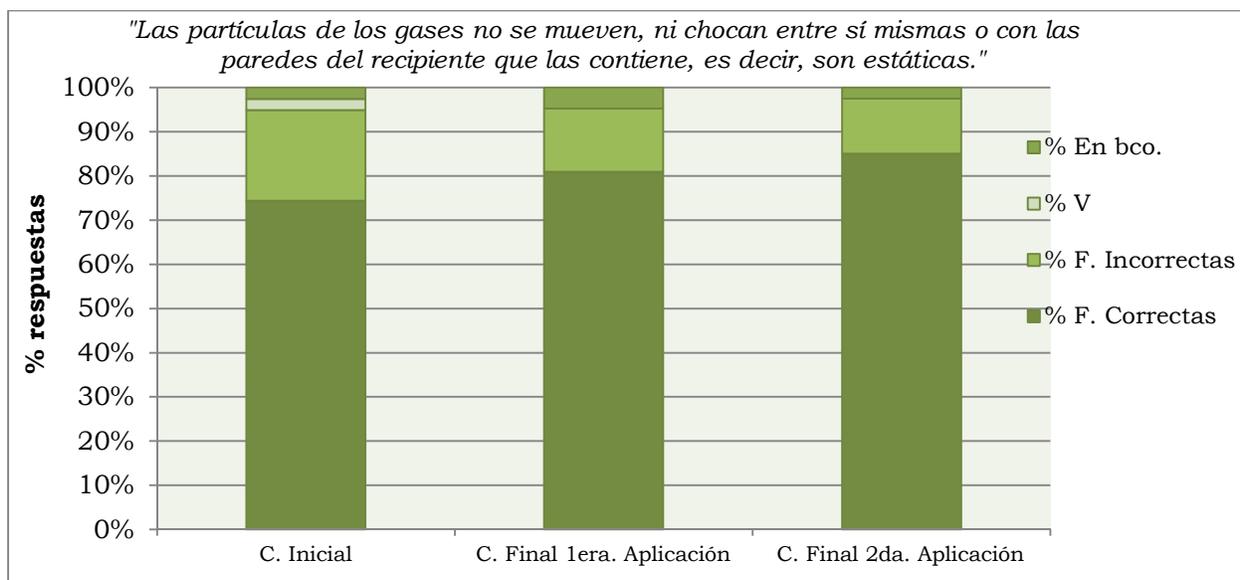
Ahora considérense únicamente las respuestas que señalan al enunciado como falso. Analizando las justificaciones de los estudiantes, se pudo determinar cuántas son correctas y cuántas incorrectas. Así, se tiene que:

Tabla 20. Para las respuestas que identificaron al enunciado como falso, se analizaron sus justificaciones y se muestra la cantidad de ideas consideradas correctas e incorrectas. Recuérdese que 37, 40 y 39 se consideran el 100% por ser éstas las identificaciones “falsas” del enunciado.

	CI (37 falsas)		CF1 (40 falsas)		CF2 (39 falsas)	
Falsas	Correctas	29 (78%)	Correctas	34 (85%)	Correctas	34 (87%)
	Incorrectas	8 (22%)	Incorrectas	6 (15%)	Incorrectas	5 (13%)

En la tabla 20 se muestra cuántas respuestas correctas se encontraron para este enunciado en las 3 aplicaciones. Una respuesta considerada “correcta” ha de cumplir con haber señalado al enunciado como falso, y además, justificar la elección con una idea relacionada con la falsedad del mismo (estas justificaciones son las que se clasificaron y se mostraron previamente). En aquella tabla se puede ver que a lo largo de la investigación se pudo alcanzar casi un 90% de respuestas correctas (enunciado “falso” + justificación correcta). En esta pregunta, desde un inicio (en CI) ya se tenía un 78% de aciertos, por tanto, el cambio “*pre-test vs post-test*” no es tan drástico como en otros enunciados.

Finalmente, en la gráfica 6 se muestran los datos de la tabla anterior, pero referidos a la totalidad de las respuestas obtenidas (39, 42 y 40 respectivamente para CI, CF1 y CF2). Se decidió así para mostrar la evolución global en la secuencia didáctica. Esto implica que hay que tomar en cuenta que se están incluyendo las respuestas que señalaron al enunciado como verdadero, o que lo indicaron como falso, pero no justificaron adecuadamente, y las respuestas en blanco.



Gráfica 6. Se observa la frecuencia en porcentaje de las respuestas en blanco, las que indicaron que el enunciado es verdadero, las que señalaron al enunciado como falso pero no justificaron adecuadamente, y las que lo identificaron como falso y justificaron correctamente. Los datos corresponden a las 3 aplicaciones del cuestionario.

Ya se ha comentado que el cambio logrado en esta pregunta, a simple vista no es tan radical. En CI se tenía alrededor de 75% de respuestas correctas, sin embargo, éstas son en su mayoría respuestas que solamente parafrasean al propio enunciado, y el factor temperatura prácticamente no se mencionó.

En contraparte, tal vez como principal logro, ya en la última aplicación (CF2), las respuestas correctas (34 casos, 85% en la gráfica 6) están constituidas por 14 ideas sencillas (J1), las cuales parafrasearon al enunciado original, pero también *hay 13 ideas que sí se basaron en que el factor temperatura está relacionado con el movimiento molecular (J4)*. Téngase en cuenta que era una idea casi ausente al inicio de la secuencia. Las 7 justificaciones que completan las 34 mencionadas son otro tipo de justificaciones que tuvieron baja incidencia, y, finalmente, también puede observarse que ningún alumno identificó al enunciado como verdadero, así como que únicamente 1 caso dejó la justificación en blanco.

Enunciado 4: Los gases presentan un volumen indefinido.

Afirmación verdadera

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de respuestas que indican que el enunciado es verdadero en las tres aplicaciones del cuestionario.

Tabla 21. Se muestra la cantidad de respuestas que identificaron correctamente como “verdadero” al enunciado. Este número de respuestas está referido al total de cuestionarios obtenidos en cada aplicación.

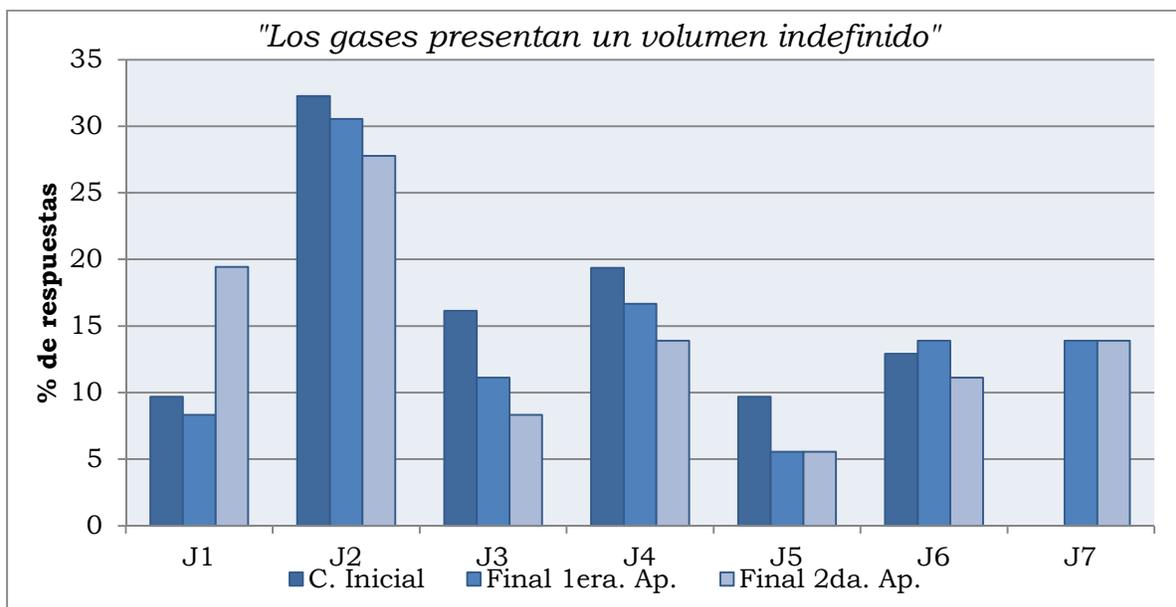
Cuestionarios	No. de respuestas que señalan al enunciado como VERDADERO
Cuestionario inicial (CI)	31 de un total de 39
Cuestionario final 1era aplicación (CF1)	36 de un total de 42
Cuestionario final 2da aplicación (CF2)	36 de un total de 40

A partir de este punto, se considerarán las 31, 36 y 36 respuestas que indican que el enunciado es verdadero como un 100% para sus respectivas aplicaciones. La clasificación de estas se muestra a continuación:

Tabla 22. Muestra la clasificación que se hizo de las justificaciones obtenidas. En cursivas aparece la idea deseable. Los encabezados, 31, 36 y 36 respuestas, corresponden con el 100% de identificaciones verdaderas encontradas en cada aplicación de este enunciado; en cada casilla aparece el número de alumnos que dieron cada justificación, y su porcentaje en relación con los totales dados en la parte superior de la tabla.

Etiqueta	Descripción de las justificaciones	CI (31 resp.)	CF1 (36 resp.)	CF2 (36 resp.)
J1	J. que sólo afirman que el volumen de un gas es indefinido	3 (10%)	3 (7%)	7 (19%)
J2	<i>J. que señalan dependencia entre el contenedor y el volumen del gas</i>	10 (32%)	11 (31%)	10 (28%)
J3	J. basadas en que los gases tienen forma indefinida	5 (16%)	4 (11%)	3 (8%)
J4	J. basadas en el movimiento molecular	6 (19%)	6 (17%)	5 (14%)
J5	J. basadas en la existencia de espacios intermoleculares	3 (10%)	2 (6%)	2 (6%)
J6	Otras justificaciones	4 (13%)	5 (14%)	4 (11%)
J7	J. relacionadas con el factor presión	0 (0%)	5 (14%)	5 (14%)

La frecuencia de estas respuestas se muestra en la gráfica 7:



Gráfica 7. Se observa la frecuencia en porcentajes de cada justificación (J1, J2, J3, J4, J5, J6 y J7) a lo largo de las 3 aplicaciones del cuestionario.

En relación con las **concepciones alternativas** encontradas, la más común corresponde con una idea como *“el enunciado es verdadero porque los gases no tienen forma”*, es decir, hay estudiantes que parecen asumir que los conceptos de forma y volumen son sinónimos, o bien, que cuando un objeto carece de forma, entonces tampoco puede tener volumen, o no se puede medir. También que *“como los gases no tienen masa, tampoco volumen”*, y que *“el movimiento de las moléculas hace imposible medir el volumen”*.

Hacia el final de la secuencia (CF1 y CF2) la respuesta más común es aquella que afirma que el volumen de un gas está determinado por el recipiente que lo contiene, fue mencionado así en aproximadamente un tercio de las respuestas correctas. La segunda respuesta más común fue la idea que parafrasea el enunciado (alcanza un quinto del total de las respuestas de CF2). Además de lo anterior se encontró que después de la SD, casi un 15 % de las respuestas mencionan a la presión o la temperatura como factores definitorios para el volumen, en dichas justificaciones se menciona que *“los gases pueden ser comprimidos”*, o bien, *“el volumen depende de la presión que se le dé”*. Esto indica que los estudiantes en cierta medida están integrando la actividad experimental que ejecutaron en sus respuestas.

Ejemplos de estas respuestas son:

“La temperatura puede hacer que crezca o disminuya el volumen de un gas.”

“Dependiendo de cuanta presión se le ejerza será su volumen.”

En una proporción semejante a lo anterior, aparecen respuestas que señalan que el movimiento molecular es responsable del volumen variable de los gases. Finalmente, también se pudo reducir el uso erróneo del concepto de “forma” para dar explicaciones acerca del volumen del gas. Sólo aparecieron 3 respuestas de este tipo en la última aplicación (8 %).

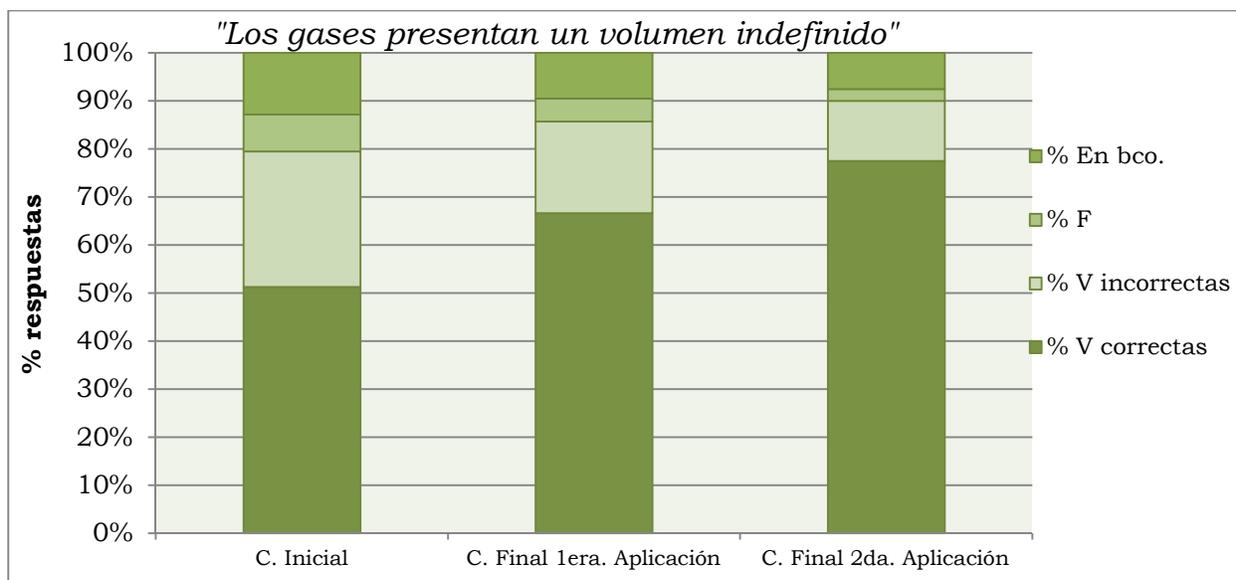
Ahora considérense únicamente las respuestas que señalan al enunciado como verdadero. Analizando las justificaciones de los estudiantes, se pudo determinar cuántas son correctas y cuántas incorrectas. Así, se tiene que:

Tabla 23. Para las respuestas que identificaron al enunciado como verdadero, se analizaron sus justificaciones y se muestra la cantidad de ideas consideradas correctas e incorrectas. Recuérdese que 31, 36 y 36 se consideran el 100% por ser éstas las identificaciones “verdaderas” del enunciado.

	CI (31 verdaderas)		CF1 (36 verdaderas)		CF2 (36 verdaderas)	
Verdaderas	Correctas	20 (65%)	Correctas	28 (78%)	Correctas	31 (86%)
	Incorrectas	11 (35%)	Incorrectas	8 (22%)	Incorrectas	5 (14%)

En la tabla 23 se muestra cuántas respuestas correctas se encontraron para este enunciado en las 3 aplicaciones. Una respuesta considerada “correcta” ha de cumplir con haber señalado al enunciado como verdadero, y además, justificar la elección con una idea relacionada con la veracidad del mismo (estas justificaciones son las que se clasificaron y se mostraron previamente). Entonces, puede verse que se inició con un 65% de respuestas correctas, y al final, se alcanzó un 86% de efectividad, aún después del tiempo que se dejó pasar entre CF1 y CF2.

Finalmente, en la gráfica 8 se muestran los datos de la tabla 23, pero referidos a la totalidad de las respuestas obtenidas (39, 42 y 40 respectivamente para CI, CF1 y CF2). Esta estrategia permite observar la evolución grupal lograda en la SD. Tómese en cuenta que se incluyen las respuestas que señalaron al enunciado como falso, o bien, aquellas que justificaron de manera inadecuada, y las que se dejaron “en blanco”:



Gráfica 8. Se observa la frecuencia en porcentaje de las respuestas en blanco, las que indicaron que el enunciado es falso, las que señalaron al enunciado como verdadero pero no justificaron adecuadamente, y las que lo identificaron como verdadero y justificaron correctamente. Los datos corresponden a las 3 aplicaciones del cuestionario.

Puede observarse que, de forma global, creció la frecuencia de respuestas correctas en casi 30%: se partió de 51% y alcanzó 78% (31 respuestas). Esta cantidad está constituida por 10 menciones relacionadas con que el volumen depende del recipiente que contiene al gas, siendo la idea más común, seguida por la idea que parafrasea al enunciado (7 menciones), y 5 que escribieron que el volumen está relacionado con la temperatura y la presión. Recuérdese que este tipo de justificación no apareció en el cuestionario de introducción. Las otras 9 respuestas que completan las 31, dan otras justificaciones que, por ejemplo, se basan en el movimiento molecular. En este apartado también vale la pena comentar que esta pregunta muestra cierta diversidad en las justificaciones, y éstas no necesariamente son incorrectas. Lo anterior tiene como consecuencia que la justificación que señala dependencia entre el contenedor y el volumen del gas, tenga una frecuencia baja al final de la SD (28%). Ello sugiere que los alumnos encontraron distintos elementos para explicar ese comportamiento del estado gaseoso. Obsérvese que en la gráfica 8 las respuestas consideradas correctas, aunque justificadas de diferentes formas, alcanzaron un 78 %.

Finalmente, también se logró que hubiera únicamente 3 respuestas que continúan confundiendo los conceptos de “volumen” y “forma” al usarlos como sinónimos.

Enunciado 5: La temperatura de un gas no afecta su volumen y su presión.

Afirmación falsa

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de respuestas que indican que el enunciado es falso en las tres aplicaciones del cuestionario:

Tabla 24. Se muestra la cantidad de respuestas que identificaron correctamente como “falso” al enunciado en cuestión. Este número de respuestas está referido al total de cuestionarios obtenidos en cada aplicación.

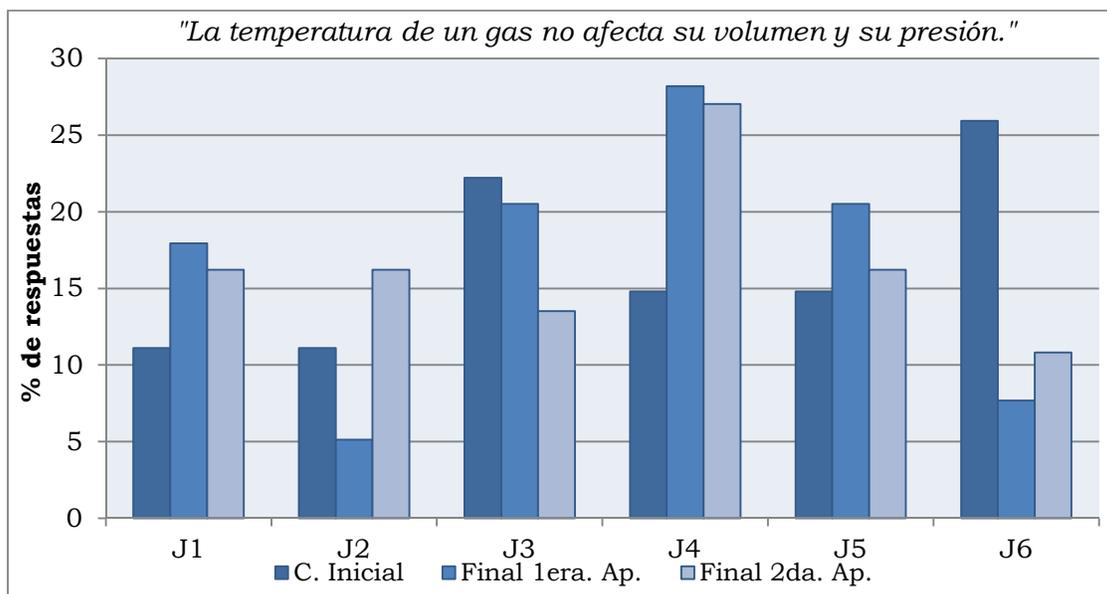
Cuestionarios	No. de respuestas que señalan al enunciado como FALSO
Cuestionario inicial (CI)	27 de un total de 39
Cuestionario final 1era aplicación (CF1)	39 de un total de 42
Cuestionario final 2da aplicación (CF2)	37 de un total de 40

A partir de este punto, se considerarán las 27, 39 y 37 respuestas que indican que el enunciado es falso como un 100% para sus respectivas aplicaciones, y así poder proseguir con el análisis de las justificaciones. La clasificación de éstas se muestra a continuación:

Tabla 25. Muestra la clasificación que se hizo de las justificaciones obtenidas. En cursivas aparece la idea deseable. Los encabezados, 27, 39 y 37 respuestas, corresponden con el 100% de identificaciones falsas encontradas en cada aplicación del enunciado; en cada casilla aparece el número de alumnos que dieron cada justificación, y su porcentaje en relación con los totales dados en la parte superior de la tabla.

Etiqueta	Descripción de las justificaciones	CI (27 resp.)	CF1 (39 resp.)	CF2 (37 resp.)
J1	J. que sólo indican que “sí le afecta”	3 (11%)	7 (18%)	6 (16%)
J2	J. que afirman que con la temperatura se afecta sólo al volumen	3 (11%)	2 (5%)	6 (16%)
J3	J. que afirman que con la temperatura se afecta sólo a la presión	6 (22%)	8 (20%)	5 (14%)
J4	<i>J. que afirman que con la temperatura se afectan las dos variables (V y P)</i>	4 (15%)	11 (28%)	10 (27%)
J5	J. que refieren al movimiento molecular	4 (15%)	8 (21%)	6 (16%)
J6	Otras justificaciones	7 (26%)	3 (8%)	4 (11%)

La frecuencia de estas respuestas se muestra en la gráfica 9:



Gráfica 9. Se observa la frecuencia en porcentajes de cada justificación (J1, J2, J3, J4, J5 y J6) a lo largo de las 3 aplicaciones del cuestionario.

Acerca de **concepciones alternativas** encontradas en la aplicación de este enunciado, la más común es la idea de que *“la temperatura no afecta a la presión ni al volumen”*. También se encontró que afectaría únicamente al estado de agregación, teniendo como consecuencia que el gas se volviera líquido o sólido. Finalmente, un par de respuestas parecen insinuar que *“es peligroso alterar las variables”*.

Ya en el final de la secuencia (CF1 y CF2), la justificación más común fue la que señalaba que se afectan ambas variables por efecto de la temperatura (J4). Ésta constituye una respuesta deseable (no necesariamente la única posible, y tampoco se insinúa que los otros tipos de justificación sean incorrectos) porque la intención es que los alumnos integren el trabajo experimental hecho por todo el grupo y no únicamente el que realizaron en sus respectivos equipos, en los cuales, sólo manipularon 2 de las 3 variables. Un ejemplo de estas ideas es:

“A mayor temperatura las partículas de un gas se mueven más rápido afectando su presión y volumen.”

Como se ve, además de incluir a las 3 variables, esta respuesta colocó al movimiento molecular como un factor a considerar.

Por otro lado, también hubo respuestas que señalan que se afecta sólo al volumen, o bien, sólo a la presión (J2 y J3 respectivamente). Puede deberse a que algunos estudiantes tomaron como base su trabajo experimental y no el de los otros equipos. Como ejemplo de lo anterior, aparecieron específicamente las siguientes ideas “*el volumen seguirá siendo el mismo pero la presión aumentará con el calor*”, “*si se afecta, más temperatura, más presión con el mismo volumen*”. Si se toman en cuenta estos tres tipos de justificación (J2, J3 y J4), se observa que suman 21 de las 37 respuestas obtenidas en CF2.

También vale la pena destacar que casi una quinta parte de las respuestas parecen insinuar un razonamiento como el siguiente: “*aumentar la temperatura hace que las moléculas se muevan más, por tanto, el volumen crecería y la presión también*” (J5).

Ahora considérense únicamente las respuestas que señalan al enunciado como falso. Analizando las justificaciones de los estudiantes, se pudo determinar cuántas son correctas y cuántas incorrectas. Así, se tiene que:

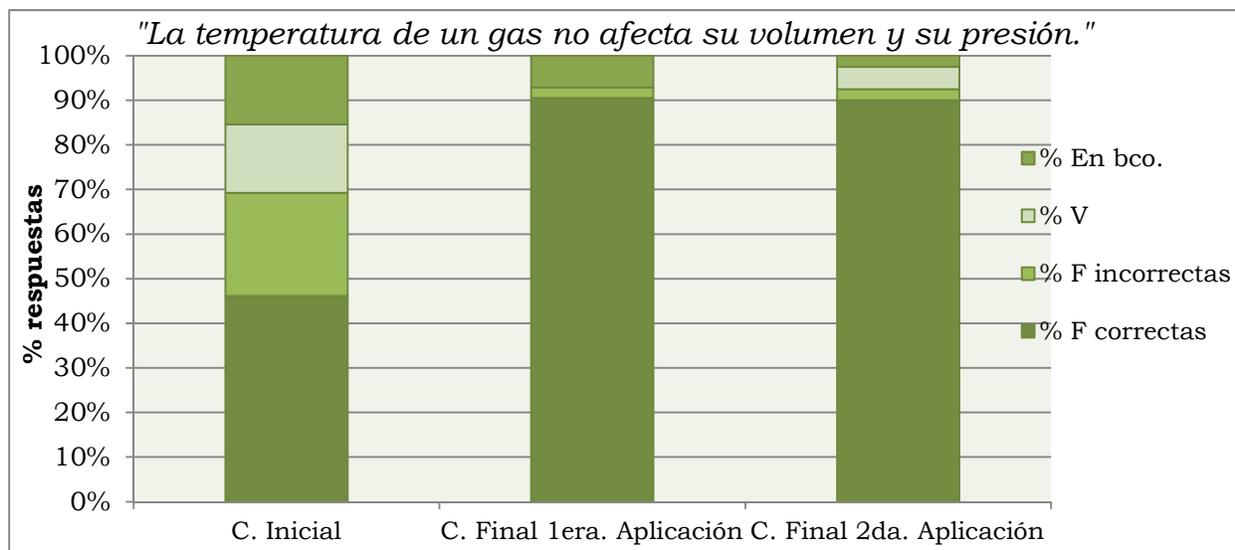
Tabla 26. Para las respuestas que identificaron al enunciado como falso, se analizaron sus justificaciones y se muestra la cantidad de ideas consideradas correctas e incorrectas. Recuérdese que 27, 39 y 37 se consideran el 100% por ser éstas las identificaciones “falsas” del enunciado.

	CI (27 falsas)		CF1 (39 falsas)		CF2 (37 falsas)	
Falsas	Correctas	18 (67%)	Correctas	38 (97%)	Correctas	36 (97%)
	Incorrectas	9 (33%)	Incorrectas	1 (3%)	Incorrectas	1 (3%)

En la tabla anterior se muestra cuántas respuestas correctas se encontraron para este enunciado en las 3 aplicaciones. Una respuesta considerada “correcta” ha de cumplir con haber señalado al enunciado como falso, y además, justificar la elección con una idea relacionada con la falsedad del mismo (estas justificaciones son las que se clasificaron y se mostraron previamente). Puede observarse que, si bien al inicio de la investigación se tenía una frecuencia alta de respuestas correctas (67%), al final se logró casi un 100% de la dupla “identificación correcta + justificación adecuada” aunque hubieran transcurrido 2 semanas entre las aplicaciones de CF1 y CF2. Tómese en cuenta que este alto porcentaje engloba respuestas que indican que “se altera el volumen y la presión gracias a la temperatura”, y también a las que señalan que la temperatura afecta a una o a otra, o bien, las que de alguna manera indican que la afectación es sobre el movimiento molecular.

Finalmente, en la gráfica 10 se muestran los datos de la tabla anterior, pero referidos a la totalidad de respuestas obtenidas (39, 42 y 40 respectivamente para CI, CF1 y CF2). La idea

es que se pueda observar la evolución grupal alcanzada según avanzó la secuencia. Esto significa que se incluyen las respuestas que señalaron que el enunciado es verdadero, o justificaron de manera inadecuada, o fueron dejadas “en blanco”:



Gráfica 10. Se observa la frecuencia en porcentaje de las respuestas en blanco, las que indicaron que el enunciado es verdadero, las que señalaron al enunciado como falso pero no justificaron adecuadamente, y las que lo identificaron como falso y justificaron correctamente. Los datos corresponden a las 3 aplicaciones del cuestionario.

A partir de la gráfica 10, se tiene que la proporción de respuestas correctas pasó de un 45 a 90 % en la aplicación de CF2 (36 de 40 respuestas). En éstas se observó que la idea principal es que la temperatura afecta al volumen y la presión (J4, con 11 menciones). En segundo lugar de frecuencia empataron 3 de los distintos tipos de justificaciones (6 menciones en cada caso). Estas respuestas son: la idea que solamente indica que “la temperatura sí afecta” (J1); la idea que afirma que sólo se afecta el volumen (J2); y la respuesta que relaciona a la temperatura con el movimiento molecular (J5).

Finalmente, el hecho de que aparezcan justificaciones diversas, y con frecuencias tan semejantes (ver tabla 25, especialmente J1, J2 y J5), sugieren que hay que inducir en los alumnos algún tipo de reflexión que los haga reconocer que las tres variables están fuertemente relacionadas. Posiblemente el trabajo experimental realizado por ellos, en el cual trabajaron con 2 de las 3 variables, está teniendo impacto en los resultados de esta pregunta. Quizá podría incluirse una demostración ejecutada por el profesor, puesto que, al menos en el diseño de esta secuencia didáctica en particular, es un poco complicado por cuestiones de logística alargar la actividad en el laboratorio. Otra alternativa es reforzar la presentación de los informes. Probablemente la clave sea estimular la apreciación hacia el

trabajo de todos los equipos, y no quedarse únicamente con la ley científica que realizó cada grupo, aunque, por otro lado, es natural que cada equipo adopte con mayor profundidad los conceptos que estudió en el trabajo práctico, y en menor medida el de sus compañeros.

La siguiente cuestión que se analizará corresponde con la **tabla de autopercepción**, informe “KPSI”, comentado en la sección de evaluación de esta secuencia didáctica y que aparece en la sección II del cuestionario de introducción, mientras que en los finales se ubica en la sección III.

Considérese que el hecho de que aparezca al inicio (CI) y al final de la investigación (CF1 y CF2), permite hacer un **análisis “pre-test vs post-test”**, el cual, se dirige hacia cinco distintos conceptos.

En ellos se exploran las siguientes cuestiones *¿Qué tanto crees que sabes acerca de...?:*

- 1) *Cómo se comportan los gases “macroscópicamente” (a simple vista).*
- 2) *Cómo se comportan los gases a nivel “submicroscópico” (cómo lo hacen sus moléculas, que son invisibles a nuestros ojos).*
- 3) *Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su temperatura.*
- 4) *Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su presión.*
- 5) *Sé convertir mediciones de temperatura en grados Celsius (°C) a la escala de Kelvin (K).*

Para efectos de hacer el contraste correspondiente, en la siguiente tabla aparecen los resultados obtenidos en esta herramienta (expresados en porcentajes):

Tabla 27. Se muestra la frecuencia de la autopercepción de los alumnos en el dominio de distintos conceptos o habilidades (*cifras en porcentaje, redondeadas). No hubo respuestas en blanco. En negritas aparece el valor más alto para cada aplicación.

Porcentajes	Aplicación	Creo que no conozco el concepto	Creo que lo conozco parcialmente	Creo que lo conozco bien	Creo que lo conozco suficientemente bien como para explicárselo a alguien más	Total*
1. Cómo se comportan los gases "macroscópicamente" (a simple vista).	CI	10	67	21	3	100
	CF1	7	36	40	17	100
	CF2	3	13	45	40	100
2. Cómo se comportan los gases a nivel "submicroscópico" (cómo lo hacen sus moléculas, que son invisibles a nuestros ojos).	CI	36	49	13	3	100
	CF1	5	31	45	19	100
	CF2	0	25	48	28	100
3. Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su temperatura.	CI	26	44	26	5	100
	CF1	2	7	43	48	100
	CF2	5	5	60	30	100
4. Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su presión.	CI	31	49	18	3	100
	CF1	2	17	45	36	100
	CF2	5	13	55	28	100
5. Sé convertir mediciones de temperatura en grados Celsius (°C) a la escala de Kelvin (K).	CI	13	44	31	13	100
	CF1	10	19	26	45	100
	CF2	5	35	30	30	100

De acuerdo con la tabla 27, en el questionario de introducción, y desde la óptica de la autopercepción de los estudiantes, la mayoría afirma que *conoce parcialmente* lo que señalan los enunciados en la primera columna a la izquierda (ver filas "CI", valores en negritas). Adicional a lo anterior, ocurre que al sumar las columnas "creo que no conozco el concepto" y "creo que lo conozco parcialmente", en todos los enunciados se obtienen porcentajes altos (del primer al quinto enunciado, 77, 85, 70, 80 y 57 % respectivamente). Esto indicó que, de acuerdo con CI y con la autoevaluación, las ideas probadas en esta tabla representan áreas de oportunidad que hubo que abordar en la SD.

En lo que se refiere al questionario final en su primera aplicación, se logró que en los enunciados 1, 2 y 4, la mayor respuesta fuera "creo que lo conozco bien" (40, 45 y 45 % respectivamente), mientras que para los enunciados 3 y 5, se marcó "*lo conozco suficientemente bien como para explicárselo a alguien más*" como principal respuesta (48 y 45 % respectivamente). Además, si se suman los porcentajes de estas mismas columnas, en

el entendido de que son las que implican mayor nivel de comprensión, se obtienen porcentajes de 57, 64, 91, 81 y 71 % respectivamente para los 5 enunciados.

Finalmente, hacia la segunda aplicación del cuestionario final, después de la sesión de retroalimentación, y habiendo pasado 2 semanas de la primera aplicación, se pudo consolidar este tipo de resultados. En la tabla puede verse que en las filas “CF2” de los primeros cuatro enunciados se mantiene como principal respuesta el caso de “creo que lo conozco bien”, seguida de “*lo conozco suficientemente bien como para explicárselo a alguien más*”. La suma de ambos casos arroja 85, 76, 90 y 83 % respectivamente. Entonces, recalando que desde el punto de vista de la autopercepción estudiantil, puede decirse que los alumnos notaron un avance en su aprendizaje, al menos en los puntos tocados por este conjunto de enunciados. Como se verá más adelante, hay ciertas concordancias con los otros resultados. Es decir, la visión que tienen los alumnos de sí mismos *coincide en cierta medida* con las ideas que expresan en otro tipo de preguntas de los cuestionarios finales, mismas que no son de autopercepción.

En relación con el enunciado que menciona las conversiones de temperatura, se obtuvieron casi empatadas las respuestas “*lo conozco parcialmente*”, “*lo conozco bien*” y “*lo conozco suficientemente bien como para explicárselo a alguien más*” (35, 30 y 30 % respectivamente). De éstas, la más común es la que indica conocimiento “parcial”. Este resultado sugiere que en la SD hay que incluir más tiempo en la sesión 3 (dedicada a la ejecución de la actividad experimental) para practicar esta habilidad con un enfoque sencillo como el operacional, puesto que no es un objetivo central de la investigación.

La siguiente pregunta es la última que se hizo con el propósito de hacer el **contraste pre y post-test**. En CI aparece en la sección III, pregunta 2; en los CF se encuentra en la sección IV, pregunta 1. La tarea es, en el **inciso a, dibujar un globo inflado con humo de cigarrillo**, mientras que en el **inciso b** solicita responder **qué ocurrirá si este globo se revienta estando en el salón de clases**.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para ambos incisos en la primera aplicación (CI). Posteriormente se mostrará lo que se obtuvo en los CF.

En el **inciso a del CI** se encontraron representaciones de las que poco a poco surgen distintas concepciones alternativas, o bien, áreas de oportunidad en lo que a modelaje se refiere. Para dicha actividad se tomaron en consideración los siguientes aspectos:

1. Si en el dibujo se representa al gas de un color determinado o no. El hecho de haber elegido específicamente el humo de cigarrillo tuvo la intención de trabajar con un gas que pudiera percibirse por su color, y así evitar cualquier simplificación o pérdida de información al pedir un dibujo de un gas incoloro como el aire.

Se observó que una gran mayoría de alumnos (34 de 39, esto es 87%) dibujaron el globo con un contenido gris. Hubo 4 (10%) que dibujaron un globo, pero en su interior no colocaron trazo alguno (ver figura 1). Podrían estar dando a entender que el humo es incoloro. Finalmente, hubo 1 respuesta en blanco (3%).

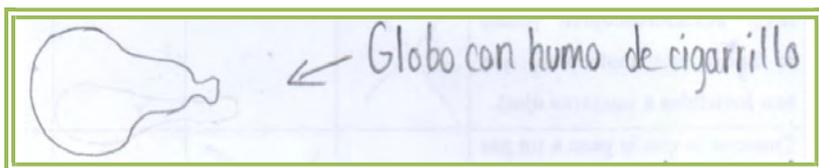


Figura 1. Muestra una representación del humo “transparente”. Esto hace que algunos aspectos de la interpretación sean difíciles.

2. Si en el dibujo se representa al gas como algo continuo o discontinuo. Una concepción alternativa común en cuanto a la representación de los gases, es dibujarlos como si fueran un medio continuo, mientras que en la disciplina química se establece que hay vacío entre las moléculas. Por tanto, esta característica tuvo especial atención en los dibujos de los estudiantes.

Se encontró que 16 de 39 alumnos (41%) dibujaron al humo como un medio continuo (ver figura 2), es decir, poseen la concepción alternativa mencionada anteriormente. Por otro lado, 20 de 36 (56%) lo presentaron como discontinuo, sin embargo, casi todos estos estudiantes decidieron hacer sólo una representación macroscópica del gas (ver figura 3). Así, puede hablarse de un modelo “discutible”, puesto que la discontinuidad tiene su origen en la separación molecular. De estos 20 alumnos únicamente dos hicieron 2 tipos de representación: una macroscópica dejando espacios (medio discontinuo) y una microscópica en la que es posible apreciar moléculas separadas por el vacío (ver figura 4). Estos casos pueden considerarse como modelos deseables puesto que consideran ambos niveles de representación (la macro y la microscópica).

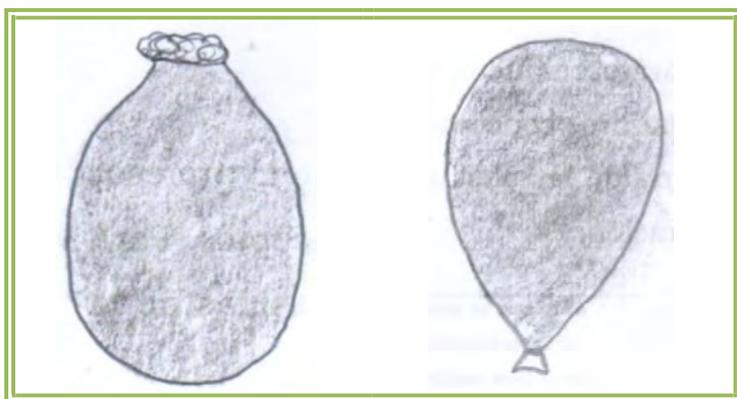


Figura 2. Ejemplos de dibujos en los que aparece el gas como un medio continuo.

Figura 3. Ejemplos de representaciones macroscópicas del gas en las que se insinúa que hay espacio vacío.

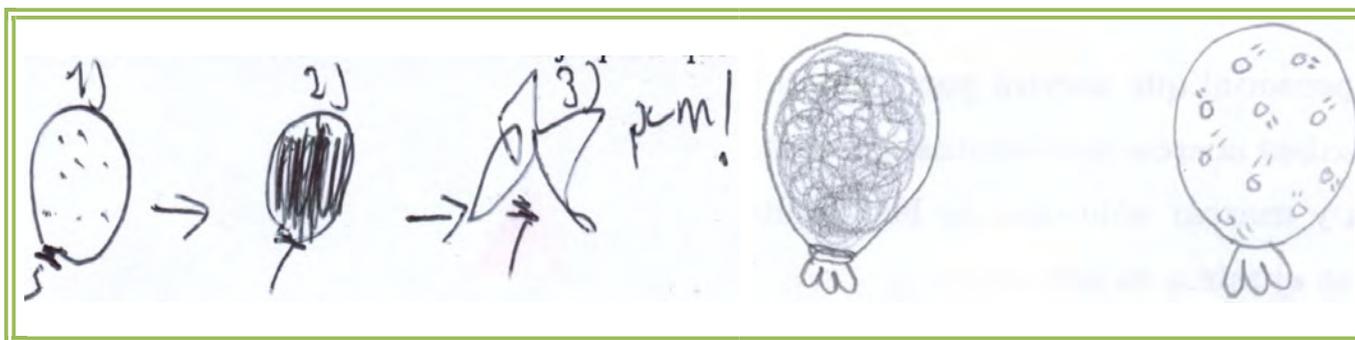
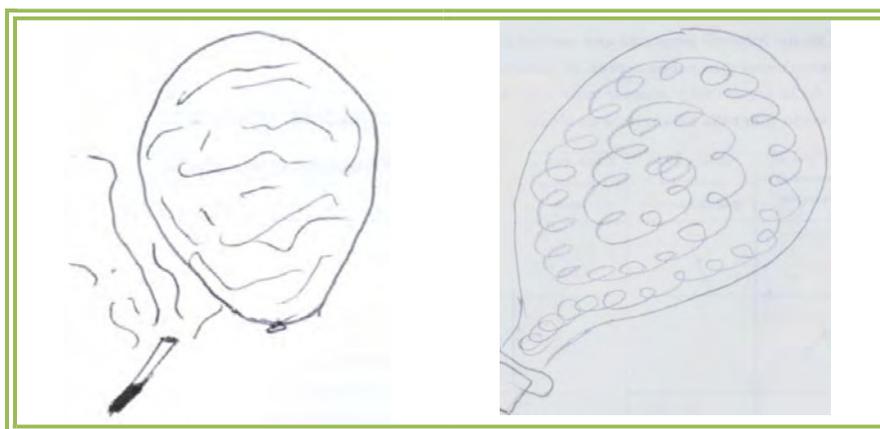


Figura 4. Muestra los casos de alumnos que consideraron poner 2 tipos de representación: colocaron una macroscópica y una microscópica. Obsérvese que en el dibujo de la izquierda, en el número 1 muestra al gas de forma molecular y, en consecuencia, como discontinuo; sin embargo el mismo alumno, en el número 2, lo coloca como un medio continuo.

Finalmente, las últimas 5 respuestas corresponden con 1 en blanco (3%) y las 4 que parecen indicar que el gas es transparente (10%), cuyo ejemplo se mostró en la figura 1. En virtud de lo anterior, no es posible analizar la continuidad o discontinuidad en estas representaciones.

3. Si en el dibujo se dio cabida a una representación molecular del gas o no. Como ya se ha dicho, en el modelaje del gas, es deseable que el alumno considere colocar moléculas de algún modo. Por ello, se puso atención en esta característica.

Se obtuvo una frecuencia bastante baja: sólo 2 alumnos de 39 (5%) hicieron esta precisión (“moleculares”). Por otro lado, el resto (36 de 39 alumnos, esto es 92%) dibujó el contenido del globo únicamente con líneas, o bien, el gas incoloro, así que en todos estos casos se trata de representaciones “no moleculares”. También hubo una respuesta en blanco (3%).

Esta carencia puede deberse a que, sencillamente, a los estudiantes no se les ocurrió dibujar moléculas y únicamente mostraron su visión macroscópica, lo cual lleva a pensar que se trata de una deficiencia relacionada con la “creación de modelos” y no necesariamente algo relacionado con el fenómeno. Otra posible explicación es que pudo ocurrir debido a concepciones alternativas como que los gases no son materia, por lo tanto, no se dibujan como moléculas. Cualquiera que sea la razón, es una omisión que presentó el 95% del grupo.

4. Si en el dibujo del globo se distribuyó al gas en todo el espacio o no. Otra concepción alternativa posible es representar a un gas en regiones específicas dentro del recipiente que los contiene (comúnmente arriba). Por tanto, se tomó en cuenta esta característica para analizarla.

Se encontró que 29 de los 39 estudiantes (74%) sí distribuyeron al gas por todo el espacio dentro del globo (ver figuras 2, 3 y 4). Hubo 5 alumnos (13%) que no lo distribuyeron. De éstos, 4 lo dibujaron “reunido” en el centro y 1 lo dibujó únicamente en la parte superior del globo (ver figura 5).

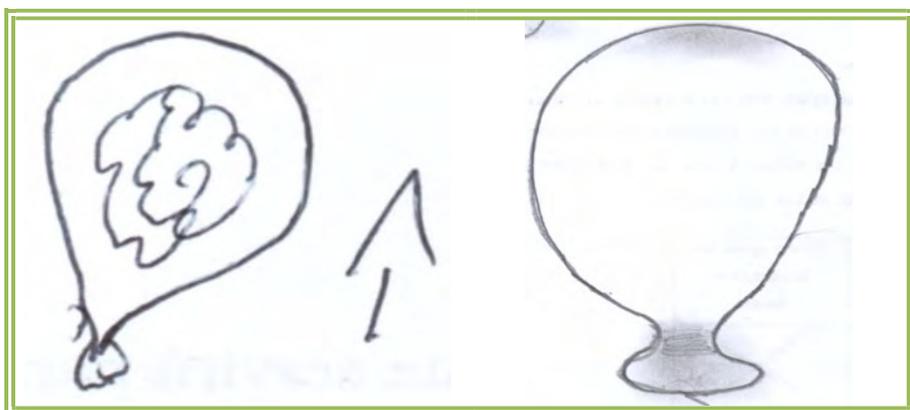


Figura 5. Se observan dos representaciones en las que el gas fue colocado en regiones específicas. La de la izquierda lo muestra reunido en el centro; la de la derecha lo pone en la parte “alta” del globo y en la “entrada”.

En cuanto a esta parte del análisis se considera que hay 4 dibujos (10%) de los que no se puede definir esta característica. Se trata de los estudiantes que representaron el contenido incoloro, así, no es posible observar si lo visualizan distribuido o no. Finalmente, hubo 1 respuesta en blanco (3%).

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los 4 puntos anteriores:

Tabla 28. Total de respuestas: 39. *En la pregunta 2, la suma de respuestas es 41 y no 39 debido a que hubo 2 alumnos que dibujaron ambas representaciones (una macroscópica de forma continua y una microscópica de forma discontinua), por tanto, se contabilizó como 2 respuestas para cada uno.

Características de los dibujos para la instrucción “dibuja al globo y su contenido” (humo de cigarrillo)			
1. ¿El interior del globo es transparente o colorido?	2. ¿Dibuja al gas como un medio continuo o discontinuo?*	3. ¿En la representación hay moléculas?	4. ¿El gas está distribuido en todo el espacio o en regiones específicas?
Colorido: 34 (87%) Incoloro: 4 (10%) En blanco: 1 (3%)	M. Cont: 16 (41%) M. Discont: 20 (56%) Indefinido: 4 (10%) En blanco: 1 (3%)	Sí las hay: 2 (5%) No las hay: 36 (92%) En blanco: 1 (3%)	Distribuido: 29 (74%) Región específica: 5 (13%) Indefinido: 4 (10%) En blanco: 1 (3%)

En el **inciso b**, también de **CI**, se pregunta **qué ocurriría con el humo al reventar el globo**, así como lo que pasaría con su olor característico. Se obtuvo que 22 de los 39 alumnos (56%) centraron su respuesta en que *“el humo se va a **expandir** al reventar el globo y entonces el olor se va a percibir en todo el salón”*. Naturalmente, redactado de múltiples formas pero con ese verbo clave, o sinónimos como *“dispersar”* o *“propagar”*. En otras respuestas (15 de 39, esto es 38%) se comentan factores que no mencionan como tal la expansión del gas, por ejemplo que *“el gas únicamente sale”* o que *“queda libre”* y que *“el humo así no hace daño”*. También hay 2 en blanco (5%).

En las respuestas descritas en el párrafo anterior fue posible detectar algunas concepciones alternativas: que el gas se expande porque el globo, al reventar, *“lo impulsa”* (3 respuestas), y que el gas tiene que ir hacia el techo del salón (1 respuesta).

Como se estableció, lo anterior representa el resultado obtenido para la primera aplicación de esta pregunta en sus dos incisos (CI). A continuación se observa el resultado para los cuestionarios finales CF1 y CF2:

Para el **inciso a**, recordando que pide dibujar al globo y su contenido (humo), se obtuvo lo siguiente en CF1 (42 alumnos):

Tabla 29. Resumen de las características y frecuencia del dibujo del globo con humo de cigarrillo obtenidas en CF1. Se observa el número de respuestas para cada situación y su porcentaje entre paréntesis.

Características de los dibujos para la instrucción “dibuja al globo y su contenido” (humo de cigarrillo)			
1. ¿El interior del globo es transparente o colorido?	2. ¿Dibuja al gas como un medio continuo o discontinuo?	3. ¿En la representación hay moléculas?	4. ¿El gas está distribuido en todo el espacio o en regiones específicas?
Colorido: 38 (91%) Incoloro: 3 (7%) En blanco: 1 (2%)	M. Cont: 15 (36%) M. Discont: 19 (45%) Indefinido: 3 (7) En blanco: 1 (2%) “Híbridos”: 4 (10%)	Sí las hay: 12 (29%) No las hay: 29 (69%) En blanco: 1 (2%)	Distribuido: 33 (79%) Región específica: 5 (12%) Indefinido: 3 (7%) En blanco: 1 (2%)

Si se compara esta tabla con la que corresponde al cuestionario de introducción, puede verse que la primera característica que se valoró (columna de la izquierda), permaneció prácticamente sin alteración. Es decir, la mayoría de los alumnos (91%) dibuja al humo de un color determinado, por tanto, no lo conciben como “transparente” ni “invisible”, lo cual entorpecería la interpretación de sus modelos.

En cuanto a la continuidad o discontinuidad del medio en los dibujos (segunda columna), descendió ligeramente la frecuencia de ambos casos con respecto al cuestionario de introducción, para quedar con aproximadamente 40% de las respuestas en cada tipo de representación.

El descenso de las respuestas que expresan al gas como un medio discontinuo (respuesta deseable) posiblemente se explique a partir de que en CF1 surgió la necesidad de establecer una nueva categoría: la de **modelos híbridos** (10% de frecuencia). Se trata de dibujos que “mezclan” la visión macroscópica (líneas tenues y entrecortadas) con la microscópica (pequeñas esferas que representan moléculas, ver figura 6).

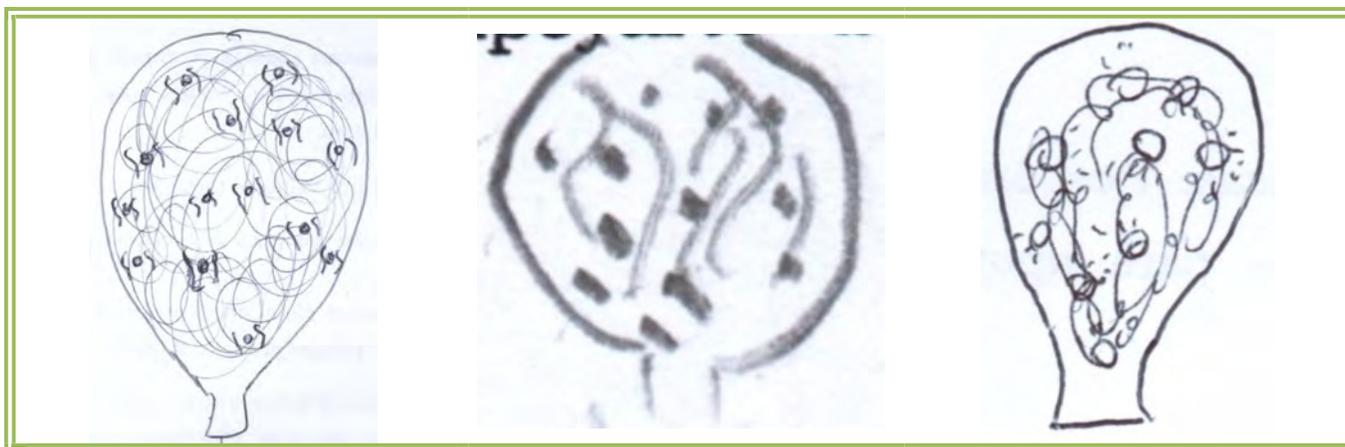


Figura 6. Se observan 3 ejemplos de modelos híbridos. Representan al gas con líneas tenues y agregan moléculas.

La aparición de esta nueva categoría (modelos híbridos), aunque ciertamente es una respuesta no deseable, es un paso que necesariamente aparece en la creación de modelos y es evidencia de la aplicación de la secuencia didáctica; así, puede inferirse que algunos alumnos pasaron por una “transición” en el enriquecimiento de sus modelos.

Por otro lado, los dibujos en los que se representan moléculas, se vio cierto ascenso al pasar de 5% (CI) a 29% en CF1. No obstante, permaneció un 69% de alumnos sin incluir esta visión, es decir, no consideraron hacer una representación microscópica.

Finalmente, la distribución del gas uniformemente al interior del globo, también permaneció prácticamente sin cambios en cuanto a frecuencia. Para CF1 quedó en 80% la frecuencia de alumnos que ocuparon todo el espacio, mientras que un 12% lo hizo en regiones específicas.

En principio, esta situación llama poderosamente la atención puesto que en una actividad intermedia (los reportes del trabajo experimental), los alumnos hicieron representaciones aceptables. La diferencia radica en que en las características del informe se les pidió explícitamente que debían hacer un dibujo de su experimento en el que se apreciara la actividad molecular. En el texto que corresponde a ambos cuestionarios finales, la instrucción no aparece redactada así. Entonces, podría afirmarse que no es que los alumnos no sepan hacer representaciones microscópicas, sino que no consideraron hacerlo así.

Como quiera que sea, para evitar lo anterior, habría de buscarse un punto en el desarrollo de la secuencia didáctica que permita generar un análisis con los estudiantes al respecto. Probablemente el momento más adecuado sea la presentación de los informes del trabajo práctico porque en éste se pueden hacer contrastes entre unas y otras representaciones.

En el caso de esta investigación, esta complicación se detectó inmediatamente después de la aplicación del CF1, y ello permitió generar una discusión en la sesión de retroalimentación. Así, se pudo mejorar bastante la respuesta del alumnado.

La evidencia de lo anterior se obtuvo de la aplicación de CF2 (40 estudiantes), cuyos resultados para esta pregunta aparecen a continuación:

Tabla 30. Resumen de las características y frecuencia del dibujo del globo con humo de cigarrillo obtenidas en CF2. Se observa el número de respuestas para cada situación y su prevalencia en porcentaje entre paréntesis.

Características de los dibujos para la instrucción “dibuja al globo y su contenido” (humo de cigarrillo)			
<i>1. ¿El interior del globo es transparente o colorido?</i>	<i>2. ¿Dibuja al gas como un medio continuo o discontinuo?</i>	<i>3. ¿En la representación hay moléculas?</i>	<i>4. ¿El gas está distribuido en todo el espacio o en regiones específicas?</i>
Colorido: 38 (95%) Incoloro: 2 (5%) En blanco: 0	M. Continuo: 7 (18%) M. Discontinuo: 28 (70%) Indefinido: 0 (0%) En blanco: 0 (0%) “Híbridos”: 5 (12%)	Sí las hay: 37 (93%) No las hay: 3 (7%) En blanco: 0	Distribuido: 40 (100%) Región específica: 0 (0%) Indefinido: 0 (0%) En blanco: 0 (0%)

Como puede verse, en relación con el color del gas del ejemplo específico que se manejó, 95% de los alumnos lo colocan de un color determinado. Esto tiene dos consecuencias: la primera, no están imaginando al humo como un gas incoloro; la segunda, permite analizar con más detalle las otras características de sus modelos.

Quizá lo más grave detectado en la aplicación de CF1 fue que había un 36% de alumnos concibiendo al gas como un medio continuo. Después de CF2 se observa que este porcentaje disminuyó a 18%, mientras que el 70% de los estudiantes lo representan como un medio discontinuo.

Obsérvese también que la clasificación de “indefinido” desapareció en ésta y en la última columna (derecha). Estos casos correspondían a dibujos de “gases transparentes”, si bien aparecieron dos casos así en CF2, se trata de alumnos que presentaron un dibujo adicional que sí permitió analizar sus respuestas. En la peor de las situaciones, se trata de estudiantes que en una visión macroscópica lo imaginan transparente, mientras que en una microscópica lo dibujan con moléculas.

Pasando con la inclusión o no de moléculas en los modelos, se encontró que para CF2, 37 estudiantes (93%) consideró colocarlas en sus representaciones. Más aún, 30 de estos 37 alumnos buscaron la manera de dar a entender que las moléculas del gas se están moviendo (dibujando flechas o líneas, ver figura 7). Cabe señalar que la movilidad fue expresada en CF1 por únicamente un estudiante.

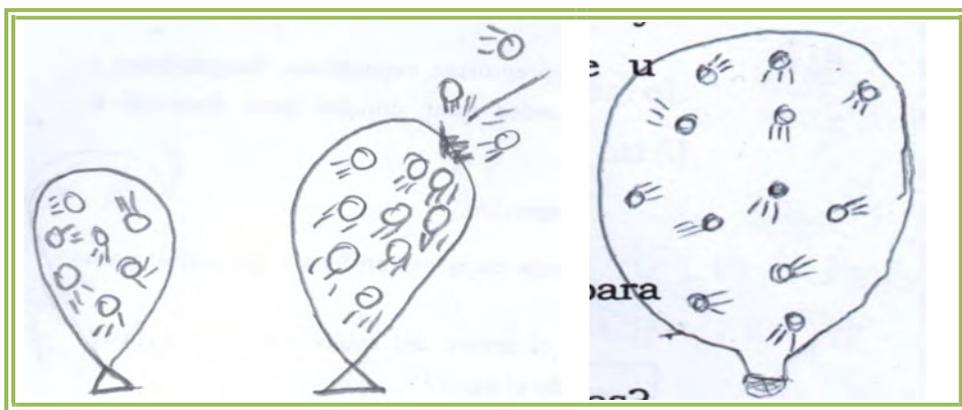


Figura 7. Ejemplos de dibujos donde se muestran modelos moleculares exclusivamente. Se observa que se representa el movimiento de las moléculas con líneas.

Es importante comentar cómo pudo lograrse lo anterior: en la sesión de retroalimentación se preguntó al grupo “¿qué maneras diferentes proponen para representar al globo lleno de humo?”. Lo que se observó fue que la mayoría mencionaba al medio discontinuo pero macroscópico, y hubo pocos que plantearon dibujar moléculas. Entonces se lanzó la pregunta “¿cuál de los 2 modelos es correcto?”. Así se generó la discusión en la que los estudiantes concluyeron que ambos son válidos con la aclaración de por medio de que uno es una representación macroscópica y el otro una microscópica. Además se indujo una reflexión en cuanto a la movilidad molecular, por ello también es posible explicar que, como se había dicho antes, en bastantes cuestionarios se observa esa particularidad.

La discusión anterior también tuvo como consecuencia que 13 estudiantes consideraran colocar ambos dibujos (ver figura 8).

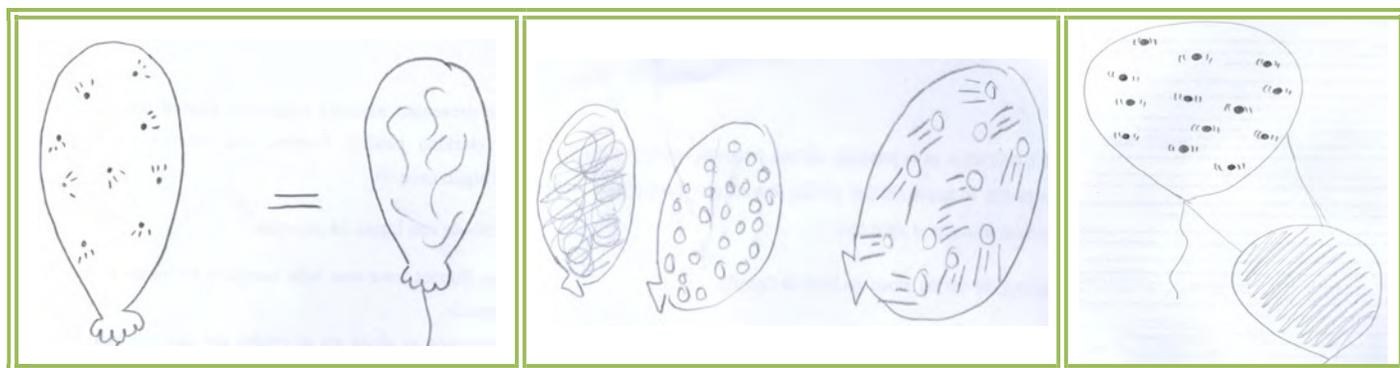


Figura 8. Se muestran dibujos en los que se presentaron ambas representaciones del gas por separado (macro y microscópica), por tanto, no se trata de modelos híbridos sino que estos consideran ambas perspectivas. En todos los casos se observan líneas que no indican que el gas es un medio continuo, y también hay moléculas con movimiento.

Finalmente, en relación con la distribución del gas en el recipiente, se logró que el 100% de los alumnos lo dibujaran ocupando todo el espacio al interior del gas, tanto en representaciones macroscópicas como en microscópicas.

En cuanto al **inciso b** de la misma pregunta, que solicita explicar lo que ocurre al reventar el globo con humo estando dentro del salón, **en CF1** se obtuvo que 36 de los 42 alumnos que presentaron el cuestionario (86%), basan su explicación en que “el gas se puede expandir por el salón” (algunos mencionan “dispersar” o “esparcir”). En el cuestionario de introducción esta idea tuvo una frecuencia del 56%. Por otro lado, llama la atención que de estos 36 estudiantes, 12 incorporaron la idea que indica que “las moléculas se mueven”, esto permite suponer que están visualizando al fenómeno de una manera más abstracta puesto que incluyen al movimiento molecular como una herramienta para dar explicaciones (en el cuestionario de introducción, únicamente un alumno lo mencionó). A continuación se transcribe íntegramente un par de estas respuestas:

El humo del cigarro se va a comenzar a dispersar porque es un gas y sus moléculas se mueven y reparten por todo el espacio en donde está

Las partículas se expanden, debido a que no tienen un recipiente que las contenga, por lo que el olor a cigarrillo se expandiría hacia el salón.

En cuanto a otras posibles respuestas del mismo inciso b en CF1, hubo algunas ideas no tan cercanas al fenómeno: comentan únicamente que “el gas sale” o que “el olor se mantiene”. Éstas, en suma, son 6 respuestas (14%).

En relación con CF2, se obtuvieron las mismas clasificaciones con frecuencias bastante semejantes: los estudiantes que mencionan la expansión del humo fueron 37 de 40 (93%), y entre ellos, 11 consideraron al movimiento molecular en sus explicaciones.

El resto de las respuestas (3 alumnos, esto es 7%) comentan únicamente que “el gas sale”, o bien que “se percibiría el olor”. Finalmente, vale la pena comentar que dos estudiantes afirmaron que “al reventarse (el globo) dispersa el olor”. Parecen insinuar que “el gas se expande porque el globo le proporciona presión” o algo semejante. Ésta fue una idea que se encontró en el cuestionario de introducción como una concepción alternativa, y al parecer está reapareciendo en CF2, aunque con una frecuencia muy baja.

En resumen, para el inciso b se observó que la gran mayoría de los alumnos detectaron y señalaron explícita o implícitamente la expansión del gas, e incluso, algunos de ellos basaron su respuesta en el movimiento molecular. En cuanto a frecuencia de cada tipo de respuesta, se mantuvieron muy semejantes en CF1 y CF2, esto lleva a pensar que se trata de conceptos que fueron aprendidos efectivamente puesto que permanecen después de un par semanas entre las aplicaciones.

Preguntas que sólo aparecen en los cuestionarios finales (CF1 y CF2)

Para terminar el material derivado de los cuestionarios, se presentan simultáneamente los resultados y el análisis de las preguntas que aparecen únicamente en CF1 y CF2¹⁰. Éstas corresponden a las **secciones I íntegramente**, y la **IV** (todas las preguntas, excepto la primera que es de tipo “pre post-test” y ya se analizó).

La **sección I** de los cuestionarios finales corresponde con un par de preguntas de opción múltiple acerca del concepto de *modelo*.

La **pregunta 1** solicita “elegir la opción que se parezca más a la idea que el alumno tiene acerca del concepto de modelo”. En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos en ambos cuestionarios:

Tabla 31. Expresa la cantidad de alumnos que eligieron cada enunciado en ambas aplicaciones del cuestionario final. Para el final 1 fueron 42 respuestas, mientras que para el segundo 40. Entre paréntesis aparece cada dato expresado en porcentaje.

Opciones	Cuestionario final 1	Cuestionario final 2
a) <i>Son copias exactas de un fenómeno u objeto del mundo real. Los pueden crear solamente los científicos más sobresalientes en sus laboratorios.</i>	0 (0%)	0 (0%)
b) <i>Son copias exactas de un fenómeno u objeto del mundo real. Los pueden crear tanto los científicos profesionales como los estudiantes de ciencia.</i>	6 (14%)	0 (0%)
c) <i>Son representaciones que tienen cierto parecido a un fenómeno u objeto del mundo real, pero no son idénticos. Son creados por los científicos profesionales y también por los estudiantes de ciencia.</i>	36 (86%)	38 (95%)
d) <i>Son representaciones que tienen cierto parecido a un fenómeno u objeto del mundo real, pero no son idénticos. Los crean sólo los estudiantes de ciencia para cumplir un requisito de sus trabajos escolares.</i>	0 (0%)	2 (5%)

¹⁰ Recuérdese que CF1 fue resuelto por 42 estudiantes en la última sesión de la secuencia didáctica, mientras que CF2 se presentó por 40 alumnos habiendo pasado 2 semanas de la actividad de retroalimentación con que se concluyó la SD.

A partir de estos resultados, puede decirse que desde el CF1 la mayoría de los estudiantes no tuvo mayor problema en identificar una definición adecuada del concepto “modelo científico”. Nadie, en ningún momento, afirmó que fuera una copia exacta creada sólo por científicos profesionales. También puede verse que en principio hubo un 14% de alumnos que afirmaron que ellos pueden crear modelos, pero son “copias exactas” del fenómeno en cuestión (opción b). Gracias a la sesión de retroalimentación, esta situación pudo abatirse como se muestra en la columna correspondiente a la aplicación de CF2.

Por otro lado, la poca frecuencia de la opción d en ambos cuestionarios demuestra que prácticamente ningún estudiante está pensando en que los modelos son algo exclusivamente escolar. Es decir, están rechazando que sean algo “creado sólo por estudiantes de ciencia” y también que “son un requisito en los trabajos escolares”. Esto es importante porque la intención es que se apropien de la idea de que los modelos tienen un uso y relevancia fuera del aula.

La **pregunta 2** pide seleccionar ejemplos de modelos de entre las siguientes cuatro opciones:

a) La ecuación que relaciona las variables “precio” y “proporción de oro” en la fabricación de joyas

b) *La invención de una Tablet que muestra imágenes en 3D*

c) *El descubrimiento de un nuevo planeta en el sistema solar*

d) Unos planos en los que se representa la Ciudad Universitaria de la UNAM

Como puede verse, hay 2 respuestas correctas (en negritas). Es importante señalar que en las instrucciones dadas a los alumnos se indicó que, posiblemente, había más de una opción adecuada. En razón de este diseño de la pregunta, y considerando la cantidad de alumnos, cada enunciado pudo haber sido elegido hasta 42 veces en CF1. Así, lo que se presenta a continuación es, para cada opción, cuántas veces fue elegida como opción correcta en dicha aplicación del cuestionario final:

Tabla 32. Resultados de CF1. Columna de la izquierda: respuestas correctas en negritas. En la columna de la derecha aparecen las posibles combinaciones que tuvieron los incisos a y d. Los incisos b y c, al ser respuestas incorrectas, no se contemplaron en este análisis más que para sus combinaciones con los otros enunciados. Al final, en negrita y en cursiva aparece la frecuencia que presentó la combinación correcta: a y d.

Resultados de CF1	No. de veces que fue elegida como correcta	Posibles combinaciones
a) La ecuación que relaciona las variables “precio” y “proporción de oro” en la fabricación de joyas	27	De las 27 anteriores, aparece: ❖ 5 veces sin otra opción (“sólo inciso a”) ❖ 5 veces acompañada de b o c ❖ 17 veces acompañada del inciso d
<i>b) La invención de una Tablet que muestra imágenes en 3D</i>	12	N/A
<i>c) El descubrimiento de un nuevo planeta en el sistema solar</i>	2	N/A
d) Unos planos en los que se representa la Ciudad Universitaria de la UNAM	35	De las 35 anteriores, aparece: ❖ 6 veces sin otra opción (“sólo inciso d”) ❖ 12 veces acompañada de b o c ❖ 17 veces acompañada del inciso a

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para esta pregunta en la aplicación de CF2. En este caso, cada enunciado pudo haber sido elegido hasta 40 veces puesto que esa fue la cantidad de alumnos:

Tabla 33. Resultados de CF2. Columna de la izquierda: respuestas correctas en negritas. En la columna de la derecha aparecen las posibles combinaciones que tuvieron los incisos a y d. Los incisos b y c, al ser respuestas incorrectas no se contemplaron en este análisis más que para sus combinaciones con los otros enunciados. Al final, en negrita y en cursiva aparece la frecuencia que presentó la combinación correcta: a y d.

Resultados de CF2	No. de veces que fue elegida como correcta	Posibles combinaciones
a) La ecuación que relaciona las variables “precio” y “proporción de oro” en la fabricación de joyas	36	De las 36 anteriores, aparece: ❖ 3 veces sin otra opción (“sólo inciso a”) ❖ Ninguna vez acompañada de b o c ❖ 33 veces acompañada del inciso d
<i>b) La invención de una Tablet que muestra imágenes en 3D</i>	0	N/A
<i>c) El descubrimiento de un nuevo planeta en el sistema solar</i>	0	N/A
d) Unos planos en los que se representa la Ciudad Universitaria de la UNAM	37	De las 37 anteriores, aparece: ❖ 4 veces sin otra opción (“sólo inciso d”) ❖ Ninguna vez acompañada de b o c ❖ 33 veces acompañada del inciso a

Entonces, la respuesta propiamente correcta es aquella que elige a los incisos a y d. De esta combinación se obtuvo en CF1 un total de 17 casos, mientras que en CF2, un total de 33 ocasiones. En términos porcentuales se logró que:

Tabla 34. Muestra la frecuencia de las respuestas correctas, constituidas por la elección de a y d, en el cuestionario final en sus dos aplicaciones. No contempla las parcialmente correctas ni otras combinaciones.

	Respuesta correcta: incisos a y d	En porcentaje
CF1	17 de 42 alumnos	40 %
CF2	33 de 40 alumnos	83%

Puede decirse que, si bien en CF1 se obtuvo un porcentaje relativamente bajo (40%) de respuestas correctas (elección de a y d), se mantuvo baja la frecuencia de las respuestas incorrectas. Esto es, inciso b (un invento) con 12 menciones de 42 posibles (29%); e inciso c (un descubrimiento) con 2 menciones de 42 posibles (5%). En otras palabras, ese 60% faltante está constituido por las pocas menciones de b y c, pero además de respuestas que pueden clasificarse como “parcialmente correctas”: elección de a o d, o bien, alguno de estos acompañado de b y/o c. De éste tipo de combinaciones se hablará más adelante.

En cuanto a lo que se muestra como resultado para CF2, puede afirmarse que la sesión de retroalimentación permitió consolidar y aclarar aspectos relacionados con la ejemplificación de los modelos científicos, para así alcanzar un 83% de respuestas correctas. Esto tiene concordancia con lo que se obtuvo en la pregunta 1 (acerca del concepto de modelo). Recuérdese que en aquella cuestión, el 95% de los estudiantes eligieron la definición adecuada en CF2.

En resumen, al menos 4 de cada 5 alumnos lograron elegir una definición adecuada del concepto de modelo, acompañada de un ejemplo.

Para otras posibles respuestas, mismas que pueden considerarse *parcialmente correctas*, se obtuvo que:

Inciso a, como única respuesta o acompañado de los incisos b o c:

- ❖ En CF1 en 10 ocasiones (24%).
- ❖ En CF2, 3 veces pero **sin acompañarlo** de b o c (8%).

Inciso d, como única respuesta o acompañado de los incisos b o c:

- ❖ En CF1 en 18 ocasiones (43%).
- ❖ En CF2, 4 veces pero **sin acompañarlo** de b o c (10%).

A partir de lo anterior, puede decirse que las respuestas parcialmente correctas representaron un 24 % para el inciso a, y 43% para el inciso d. Todo lo anterior en CF1.

Por otro lado, ya en CF2, se pudo disminuir en gran medida al pasar a 8% en el caso del inciso a, mientras que para el d bajó hasta un 10%. Esto quiere decir que en la segunda aplicación del cuestionario final, las respuestas parcialmente correctas disminuyeron hasta los porcentajes mencionados, y, adicionalmente, se trata de alumnos que ya no consideraron las opciones b y c como ejemplos de modelos científicos (un invento y un descubrimiento respectivamente), es decir, se abatió totalmente aquella idea.

En resumen, ocurrió que en respuestas correctas (a y d) se logró un 83% de frecuencia en CF2. El 17% restante se constituye por respuestas parcialmente correctas (elección de “sólo a” o “sólo d”) y no se tuvo ningún alumno eligiendo al invento (b) ni al descubrimiento (c).

Finalmente, ha de decirse que el diseño de estas dos preguntas solamente permite averiguar si los alumnos pueden reconocer una definición adecuada de “modelo” y dos ejemplos, y ello no garantiza que logren construir o explicar el concepto. Es así que si se tuvieran estos objetivos en otra investigación, sería bastante pertinente hacer modificaciones, por ejemplo, con una pregunta abierta.

Para continuar, en la **sección IV** faltó presentar y analizar las preguntas 2, 3, 4, 5, y 6, las cuales aparecen sólo en los cuestionarios finales CF1 y CF2. Esto se muestra en seguida:

La **pregunta 2** trata de un problema que, en pocas palabras, plantea que se tienen 2 recipientes de 1L de capacidad conteniendo gas hidrógeno. Ambos son de diferentes marcas, uno es el doble de caro que el otro, y son usados por un vendedor para llenar globos.

Eventualmente el vendedor se da cuenta de que el más caro le es más conveniente aunque tenga la misma capacidad (1L). Se pide a los estudiantes explicar cómo puede ser esto posible. Es importante recalcar que la pregunta es quien afirma que el recipiente caro “rinde más” y esto es así “porque se pueden llenar más globos con él”.

La idea fundamental era que los alumnos expresaran una respuesta semejante a *“aunque los envases tienen el mismo volumen, el recipiente caro puede tener más hidrógeno si las moléculas están más juntas o fueron introducidas con más presión”*.

En ambos cuestionarios finales se obtuvo cierta diversidad en las respuestas y, como es de esperar, algunas ideas son más elaboradas que otras. Haciendo un esfuerzo para clasificarlas, se generaron 4 posibilidades:

Respuestas que afirman que se explica a través de la presión: 17 de 42 alumnos (40%) en CF1 mencionan a esta variable como el factor que explica lo que el enunciado afirma. Algunas respuestas consisten en ideas básicas, mientras que otras reflejan una comprensión más profunda de los conceptos involucrados. A continuación se muestran 2 transcripciones de "ideas deseables":

“(el caro) debe estar a alta presión. Además estar a una mayor presión permite almacenar más gas o su concentración es mayor.”

“El gas barato está a mayor temperatura que el caro, esto hace que el caro ocupe menor espacio y por lo tanto infle más globos.¹¹”

En cuanto a CF2, la frecuencia de las respuestas que ponen a la presión del gas como concepto central en sus explicaciones, aumentó hasta un 60% (24 de 40 alumnos). Aunque también hay cierta diversidad en relación con la complejidad de las ideas, aparecen en una proporción baja las que podrían considerarse las más simples de todas.

En este caso, nuevamente se observa la importancia de la sesión de retroalimentación y discusión grupal. Ello permitió aumentar el porcentaje mencionado y, además, que aparecieran algunas respuestas que mencionan a las moléculas del gas. Un par de estas ideas son:

“Porque quizá en ese bote el gas viene más comprimido y por lo tanto es más, y en el otro puede que traiga menos moléculas de gas y dure menos.”

“Si comprimimos las moléculas del hidrógeno podría caber más en un recipiente que si no las comprimimos.”

Como puede verse, se trata de ideas que incorporaron el concepto de “molécula”, es decir, mostraron una explicación más abstracta, misma que aparece relacionada con el factor presión.

¹¹ En esta respuesta ocurre que, si bien en condiciones “comunes” ambos recipientes deberían estar a temperatura ambiente (dato que el estudiante no consideró), se observa que usa adecuadamente la relación entre temperatura y volumen.

Respuestas que consideraron “la calidad del gas”: Aunque en la parte final de la pregunta se le indica al alumno *“usa tus conocimientos acerca de los gases para responder”*, fue relativamente común que mencionaran el factor “calidad”.

En esta situación, para CF1 se obtuvieron 8 respuestas de 42 (19%), y en CF2 se pudo disminuir ligeramente a 6 de 40 estudiantes (15%). Se trata de ideas sencillas que van desde *“entre más caro, mayor calidad”*, hasta algunas más elaboradas como *“uno tiene menos calidad porque puede que el hidrógeno venga acompañado de aire”*. Para este último caso puede verse que se involucra el concepto de *“mezcla”* (esto se observó en 4 respuestas).

Respuestas “en blanco”: En CF1 se encontraron 9 casos (21%), y en CF2 hubo 3 (8%). A partir de esto puede inferirse que esta pregunta tuvo cierta complejidad para los estudiantes en el primer cuestionario. Afortunadamente, para la segunda aplicación la incidencia fue menor, posiblemente, gracias a la discusión grupal.

Finalmente, la última clasificación corresponde con “otras respuestas”: En ésta se encuentran ideas que resultan ajenas a las comentadas anteriormente. En CF1 se obtuvieron 8 de 42 (19%), mientras que en CF2 fueron 7 de 40 (17%).

Un ejemplo sencillo es *“el gas se libera más rápidamente”*. En esta clasificación también se colocaron respuestas que intentaron aplicar los conceptos de temperatura, presión o volumen pero no lograron hacerlo satisfactoriamente. Ejemplos de esto son:

“Que realmente no es el tanque sino la temperatura en la que están los tanques, mayor temperatura, mayor volumen.” En esta respuesta la relación entre temperatura y volumen es correcta, sin embargo, la propia pregunta no admite que haya tanques con capacidades diferentes.

“Que el contenido gaseoso se encuentra en condiciones normales, en cambio el barato puede que se sienta más pesado pero su temperatura al estar más elevada pueda hacer que pese más en el mismo volumen.” En este caso se afirma que una temperatura elevada hace que algo pese más, cuando en realidad la afectación es sobre el volumen.

Como se señaló, casi 1 de cada 5 respuestas, tanto en CF1 como en CF2, se clasificaron como “otras”. Para darles cause y evitar esta diversidad, y para mejorar el aprovechamiento en esta cuestión en general, habría que retomar el caso en discusión plenaria. Por otro lado, la pregunta puede mejorarse sugiriendo que se realice un dibujo con la intención de que ahí aparezca que *“un tanque tiene más moléculas que otro”*.

La **pregunta 3** de los cuestionarios finales solicita a los alumnos observar un dibujo (ver figura 9), el cual es una posible representación de los trabajos experimentales que realizaron. La idea es que identifiquen a qué relación entre variables pertenece. Este problema es de opción múltiple (enunciados) y pide una justificación de la elección.

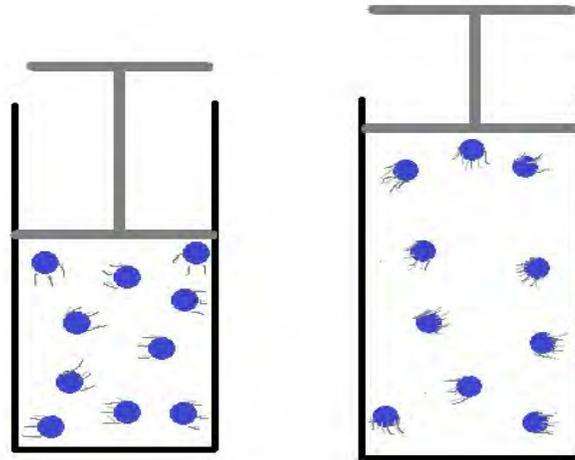


Figura 9. Se muestra la representación que se entregó a los alumnos para analizar.

En relación con la sección que corresponde con **elegir el enunciado correcto** se obtuvo lo siguiente:

Tabla 35. Muestra la frecuencia obtenida para cada respuesta en ambos cuestionarios finales, CF1 y CF2. Recuerdese que en el primero se trata de 42 estudiantes, mientras que en el segundo fueron 40.

	CF1	CF2
a) Ellos trabajaron la relación entre la presión y el volumen	32 (76%)	23 (58%)
b) Les tocó encontrar qué ocurre con el volumen de un gas al modificar la temperatura	8 (19%)	13 (33%)
c) Determinaron cómo se comporta la presión y la temperatura	2 (5%)	4 (10%)
d) Creo que observando solamente el dibujo no puedo saber qué relación estudiaron	0 (0%)	0 (0%)

Para la aplicación de CF1 se obtuvo una alta frecuencia de la respuesta adecuada (inciso a, con 76% de las respuestas). Esto significa que los alumnos pudieron identificar un aumento en el volumen provocado por una disminución de la presión ejercida. Este alto porcentaje en la correcta interpretación del modelo, puede ser consecuencia directa del trabajo experimental y la sesión de exposición de los informes. Ocurre que las representaciones realizadas por los alumnos que trabajaron la ley de Boyle (aproximadamente 12 estudiantes)

son muy semejantes a la que se colocó en esta pregunta. Éste dibujo simula una jeringa con cierta presión y volumen de un gas molecular, en segunda instancia se muestra la misma jeringa con el émbolo como si hubiera sido jalado hacia arriba.

Por otro lado, el inciso b mostró una incidencia de casi 20%, esto podría deberse a que en el dibujo, de alguna manera se interpreta que hay un aumento en la temperatura, sin embargo, esto no es así. No se colocó un mechero ni un baño María que pudiera insinuar presencia de calor.

Finalmente, el inciso que indica que la pregunta no puede responderse tuvo una frecuencia de 0%. Esto puede entenderse como que todos los alumnos reconocen que a partir del modelo que se les presentó, sí es posible determinar qué relación entre variables se está representando.

En cuanto a la aplicación de CF2, los resultados obtenidos son semejantes a los de CF1. El único cambio que puede considerarse relevante consiste en cierta disminución de la respuesta correcta (inciso a) y un aumento del inciso b.

Al aplicar la prueba CF2 pasado un tiempo desde la finalización de la secuencia didáctica, es natural esperar que la frecuencia de respuestas correctas disminuya en cierto grado. Para esta pregunta este descenso representó un 18%, teniendo a su vez un aumento de 14% del inciso b, el cual alcanzó un total de 33% de las menciones. Entonces puede pensarse que dicho enunciado puede representar para los estudiantes otra opción “viable” para responder esta pregunta. Así, queda plantear una ruta de mejora que evite que el modelo presentado tenga esta divergencia. La propuesta corresponde con otorgar mayores detalles en el dibujo.

En lo que toca a las **justificaciones**, 21 de los 32 estudiantes que eligieron el inciso a en CF1 corresponden con ideas que explican adecuadamente su elección. Describen con distintos grados de detalle lo que están observando: algunas ideas sencillas indican únicamente que *“es la relación entre presión y volumen”* (lo cual es un parafraseo del inciso elegido), otras que señalan que *“se trata de ley de Boyle”*, o, por ejemplo, las respuestas que hacen una descripción del dibujo *“es la representación de cuando se le aumenta la presión a un gas y cómo sus partículas se van comprimiendo cuando aumenta la presión”*.

También es importante comentar que el resto de estas respuestas (11 de 32) dejaron en blanco el espacio que corresponde con la justificación. Esto puede sugerir que se trata de

una pregunta con cierta complejidad para los alumnos, y con las modificaciones propuestas anteriormente, podría resultar en un problema al que puedan acceder de mejor manera. Ha de aclararse que la ausencia de justificación no hace que se consideren respuestas erróneas puesto que eligieron correctamente el enunciado (inciso a).

Por otro lado, en las justificaciones dadas por los alumnos que eligieron el inciso b (relación entre volumen y temperatura) señalan que están detectando “cambios en temperatura”, de ahí que se recomiende mejorar el modelo que se presenta a los alumnos para evitar esta interpretación.

En las justificaciones obtenidas en CF2 para esta pregunta se obtuvo un resultado semejante al de CF1, salvo por la frecuencia de las respuestas. De los 23 alumnos que eligieron el inciso a, 15 justificaron adecuadamente su elección, mientras que los 8 restantes no presentaron una idea para justificar.

Las 15 justificaciones encontradas van desde parafrasear el enunciado elegido, pasando por mencionar que se trata de la ley de Boyle, hasta respuestas más elaboradas como *“se ve claramente que el espacio se modifica, y al parecer una palanca, (por eso) puedo decir que es presión”*, o bien, *“porque al quitar la presión, las moléculas se expanden y tienen más espacio, aumentaba el volumen”*.

Finalmente, algunos de los estudiantes que señalan al inciso b como respuesta correcta, justifican diciendo que observan un cambio en la temperatura. Esto lleva a insistir en la recomendación de mejorar el modelo para no dar cabida a esa interpretación, por ejemplo, colocando una etiqueta que señale $T = cte$.

Para terminar el análisis de esta pregunta, hay que considerar que está enfocada hacia la interpretación de modelos, y, si esta secuencia didáctica es la primera actividad en la que los alumnos deben fabricarlos, o bien, interpretarlos, sus resultados parecen mostrar un grado de avance inicial, el cual, de seguir explotándose a lo largo del curso, podría mejorar.

La **pregunta 4** tiene como objetivo que los alumnos, al recibir un conjunto de mediciones de presión de un experimento de la ley de Boyle, identifiquen las correspondientes mediciones de volumen que tengan coherencia en dicho contexto. Esto es, los datos que se les entregan son 5 y son ascendentes, por tanto, habrían de seleccionar volúmenes descendentes.

La tabla dada a los alumnos es:

Tabla 36. Se muestran los datos proporcionados a los alumnos. Esta tabla es tomada de los cuestionarios finales, y en esta versión se marca en negrita y cursiva la respuesta correcta.

Presión (atm)	a)	b)	c)	d)
0.05	4.5	3	3.5	9
0.10	4.5	4.5	6	7.5
0.15	4.5	6	4	6
0.20	4.5	7.5	6.5	4.5
0.25	4.5	9	5	3

Por practicidad, los distintos incisos serán identificados como sigue: a, “volumen constante”; b, “volumen ascendente”; c, “volumen al azar”; y d, “volumen descendente”.

Con lo anterior, se pueden presentar los resultados obtenidos en los cuestionarios finales. Esto es:

Tabla 37. Se observan las frecuencias obtenidas para cada inciso en los dos cuestionarios finales. Entre paréntesis aparece el porcentaje de cada caso.

	CF1 (42 cuestionarios)	CF2 (40 cuestionarios)
a) volumen constante	2 (5%)	0 (0%)
b) volumen ascendente	12 (28%)	9 (22%)
c) volumen al azar	2 (5%)	2 (5%)
d) volumen descendente	24 (57%)	29 (73%)
En blanco	2 (5%)	0 (0%)

Puesto que los valores de presión son ascendentes, había que elegir el inciso d como respuesta correcta, o sea, la que indica que el volumen es descendente.

Como puede verse, las opciones que afirmarían que ante los aumentos en la presión, el volumen se mantenga constante, o bien, tenga cambios al azar, se mantuvieron con frecuencias bastante bajas en ambas aplicaciones del cuestionario final (5% o menos). La misma situación se observa para las respuestas en blanco.

Para CF1, la segunda respuesta más común (28%) fue que ante presiones ascendentes, hay volúmenes ascendentes (inciso b). En CF2, después de la sesión de retroalimentación fue posible disminuirlo ligeramente hasta un 22%.

En cuanto a la respuesta correcta (inciso d), en CF1 se obtuvo una frecuencia de 57% y en CF2 subió hasta alcanzar un 73%.

A partir de los resultados anteriores puede decirse que la relación inversamente proporcional entre la presión y el volumen fue asimilada por una parte importante de los

alumnos desde CF1. Además, la sesión de retroalimentación permitió mejorar la comprensión de dicha relación y, aún pasados los quince días para la aplicación de CF2, no sólo se mantuvo sino que se aumentó la frecuencia de la respuesta correcta.

Por otro lado, los incisos a y c, que dan respectivamente “volumen constante” y “al azar” como posible respuesta, tuvieron una frecuencia bastante baja (entre 0 y 2 % en ambos cuestionarios). Esto indica que fueron fácilmente descartables y en consecuencia deberían ser modificados. En este sentido puede proponerse una opción que indique volúmenes ascendentes o descendentes que no tengan el mismo cambio al modificar la presión (por ejemplo, pasar de 1 a 3 mL, luego a 6, a 10, y finalmente a 14 mL). También puede colocarse un inciso que incluya un volumen igual a 0, puesto que esto no puede ocurrir.

En lo que se refiere a las respuestas no adecuadas, la única que tiene una frecuencia relativamente considerable es la que implica que entre presión y volumen hay una relación directamente proporcional. Esto, junto con la alta frecuencia de la respuesta correcta, tiene como consecuencia que los alumnos identifican que la relación entre estas variables es inversamente o directamente proporcional, sin dar lugar a otras posibilidades, puesto que prácticamente nadie eligió el inciso de volumen constante, ni el de valores al azar. Lo cual, en términos de la identificación de modelos, y habilidades de pensamiento matemático, representa un avance.

Esta pregunta, además de elegir un conjunto de datos adecuado, solicita justificar la elección. En relación con ello, en CF1, de los 24 alumnos que eligieron el inciso d (ver tabla 37), se encontró que 20 justificaron adecuadamente en términos generales (nuevamente, como es de esperar, surgieron ideas con diferentes grados de complejidad, sin embargo, no son tan diversas como en la pregunta 3). Dichas justificaciones afirman fundamentalmente que, “si la presión va aumentando, entonces el volumen debería disminuir”.

Un par de ejemplos de las justificaciones obtenidas, son:

“Al poner en práctica la ley de Boyle el volumen y la presión tienen una relación inversamente proporcional, esto quiere decir que a mayor volumen, menor presión. Por lo tanto es la columna d”, o bien,

“La presión y el volumen son inversamente proporcionales, por eso el inciso d).”

Especialmente la primera respuesta muestra que domina los conceptos. Indica que se trata de un caso relacionado con la ley de Boyle, además, utiliza adecuadamente el término

“inversamente proporcional” y lo explica. Esto último también se observa en el segundo ejemplo.

Es importante recordar que en el cuestionario de introducción, mediante un problema basado en un caso ajeno a la química, fue analizado el uso adecuado de los términos “directamente” e “inversamente proporcional”. Éste último presentó una frecuencia relativamente baja en cuanto a comprensión (10 alumnos, esto es, 26% en el cuestionario citado). Ahora, hacia el final de la secuencia didáctica, se tiene que algunos alumnos lo mencionan y usan correctamente, mientras que otros no lo enuncian, pero lo que están expresando en palabras, corresponde con estos conceptos.

En cuanto a las justificaciones de CF2, tómesese en cuenta que hubo 29 alumnos que eligieron el inciso d (73%). De estos, 19 justificaron de forma aceptable. Comparado con CF1, se puede observar cierto descenso en la dupla “inciso correcto-justificación adecuada”. En aquel cuestionario, fueron 24 quienes eligieron la opción d (57%), y de estos, 20 que justificaron adecuadamente.

A partir de lo anterior puede decirse que, si bien pudo aumentar la elección de la opción d (pasando de 57 a 73%), las justificaciones adecuadas quedaron en casi la misma cantidad. Además de lo anterior, al dar lectura a las justificaciones de CF2 puede verse que son ideas un poco más sencillas. Una de las justificaciones más completas que se obtuvieron, es:

“Mientras la presión aumenta, el volumen va decreciendo, esa es la relación volumen-presión.”

Contrastando esta idea con la primera de las presentadas como ejemplo de CF1, puede verse que la de CF2 es menos detallada. Esto puede tenerse como un cambio natural al tener en cuenta que transcurrieron 2 semanas entre las aplicaciones de CF1 y CF2.

También se tuvo la siguiente situación: en CF2, de los 29 alumnos que eligieron d, 6 no presentaron una justificación. En tanto, en CF1, de los 24 estudiantes que eligieron d, todos presentaron una justificación. Entonces, este aumento de ideas en las que no se aportó justificación, puede estar indicando que, si bien la elección del inciso d se mantuvo y aumentó ligeramente, el conocimiento de algunos alumnos se está volviendo “sencillo” en cuanto a la posibilidad de generar explicaciones.

La **pregunta 5** es un problema que busca obtener representaciones gráficas de los alumnos, así como que identifiquen la relación que hay entre temperatura y presión, y, finalmente, elaboren un modelo matemático. Para ello, se les dio el caso del aire dentro de un recipiente de acero, al cual se le hicieron distintas mediciones de las variables mencionadas.

a) Representaciones gráficas

La instrucción solicita a los alumnos que representen con una gráfica el comportamiento del aire según la tabla de datos que se les entregó (ver tabla 38).

Tabla 38. Corresponde con la tabla de datos data a los estudiantes en el cuestionario final.

Temperatura (Kelvin)	Presión (atmósferas)
100	0.6
140	0.8
180	1.0
220	1.2
260	1.4

Las características que se valoraron son 3 y se trata de: la graduación de los ejes, y si ésta fue respetada o no; la identificación de la “variable dependiente” y la “variable independiente” para ubicarlas correctamente en los ejes x y y ; así como si la recta obtenida parte del origen o no. Estos factores son importantes porque tienen relación con la creación de modelos matemáticos, con el desarrollo de habilidades de pensamiento matemático y con la estimulación necesaria para idear explicaciones relacionadas con las propiedades del fenómeno, o por ejemplo, cuando se solicita interpretar la gráfica misma.

La descripción de los resultados obtenidos se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 39. Se observan las características que se valoraron en la gráfica de esta pregunta. En cada columna aparece cada característica encontrada y su frecuencia en número de respuestas y su porcentaje (en cursivas aparece la respuesta deseable). Hubo 9 alumnos (21%) que no presentaron respuesta.

Características de la gráficas obtenidas en CF1 (42 alumnos)		
Graduación de los ejes	Identificación de las variables dependiente e independiente	Características de la recta
<i>-Graduaron los ejes y respetaron la graduación: 24 (58%)</i>	<i>-Identificaron adecuadamente las variables dependiente e independiente: 28 (67%)</i>	<i>-Parte del origen: 12 (29%)</i>
<i>-No graduaron los ejes o no respetaron la graduación: 9 (21%)</i>	<i>-No identificaron adecuadamente: 5 (12%)</i>	<i>-No parte del origen: 21 (50%)</i>

En tanto, los resultados obtenidos en el segundo cuestionario, CF2, aparecen a continuación:

Tabla 40. Se muestra la frecuencia de las características que se valoraron en las gráficas obtenidas en la aplicación de CF2. En cursivas aparece la respuesta deseable. Hubo 3 alumnos (7%) que no dieron respuesta.

Características de la gráficas obtenidas en CF2 (40 alumnos)		
Graduación de los ejes	Identificación de las variables dependiente e independiente	Características de la recta
- <i>Graduaron los ejes y respetaron la graduación: 28 (70%)</i>	- <i>Identificaron adecuadamente las variables dependiente e independiente: 17 (43%)</i>	-Parte del origen: 12 (30%)
-No graduaron los ejes o no respetaron la graduación: 9 (23%)	-No identificaron adecuadamente: 20 (50%)	- <i>No parte del origen: 25 (63%)</i>

En los resultados puede verse que en cuanto a la **correcta graduación y uso de los ejes de las gráficas**, en CF1 se obtuvo un 58% de frecuencia, mientras que en CF2 se pudo aumentar para alcanzar 70% (ver figura 10, izquierda). Esto indica que se logró que casi tres cuartas partes de los alumnos consideraran que un requisito de su representación gráfica debía llevar esta característica. Ésta es importante porque tiene relación estrecha con el modelaje (en virtud de que se busca una ecuación) y con la generación de explicaciones, además, es ahí donde se pueden detectar los cambios “directamente proporcionales” en un par de variables.

Por otro lado, en las gráficas de algunos alumnos hay correcciones (borraron sus trazos o usaron corrector). Tratar de analizar este aspecto puede llevar a la especulación, sin embargo, esto sugiere que los estudiantes están tomando consciencia de que hay requisitos que hay que cumplir, y en consecuencia hacen cambios basados en alguna reflexión, independientemente de que lleguen a buen término o no (figura 10, derecha).

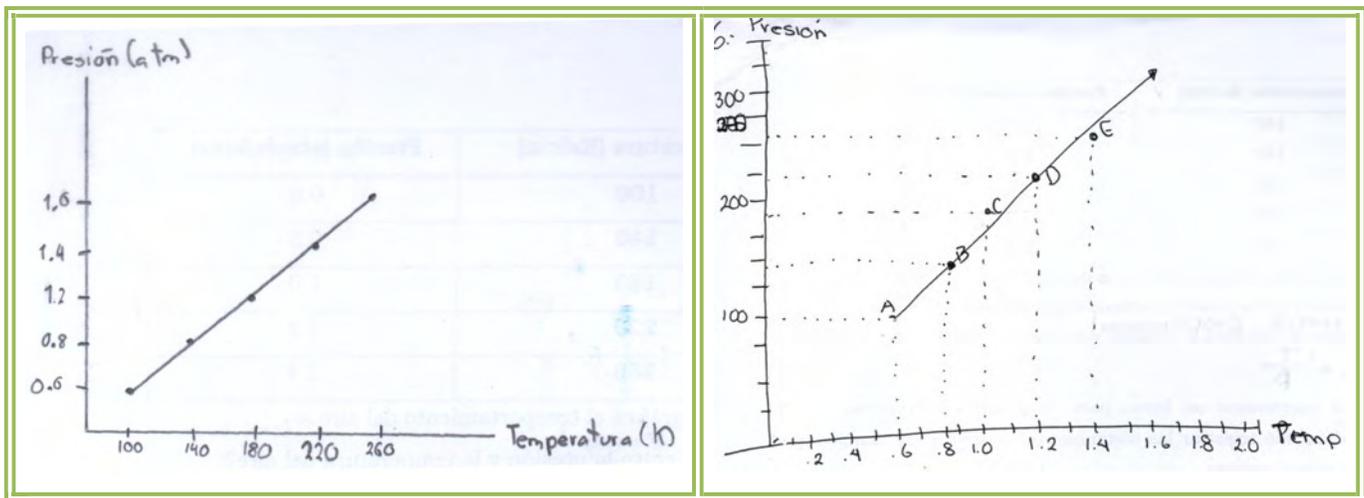


Figura 10. Se tienen dos ejemplos de gráficas presentadas por los alumnos. A la izquierda se observa una gráfica que en general es correcta (graduación, puntos y la recta que representa al fenómeno). A la derecha, un caso en el que la recta inicialmente partía del origen pero el alumno corrigió; elaboró correctamente la graduación y uso de los ejes, sin embargo, al final, invirtió la asignación de las variables cambiando los títulos (es evidente por los valores), es decir, al principio era correcta.

En cuanto a la **identificación de las variables dependiente e independiente**, en CF1 se obtuvo un 67% de alumnos que asignaron correctamente la presión al eje y , y la temperatura al eje x (ver ejemplos en la figura 11). Para CF2 esto bajó hasta un 43%, lo cual representa el descenso más importante en todo este trabajo de investigación. Esto puede deberse a que los alumnos encuentran gran dificultad en el análisis correspondiente a esta identificación, o bien, podría ser debido a que la asignación de las variables a los ejes les resulta indiferente, es decir, podrían estar considerando que “cualquier variable puede colocarse en cualquier eje”, lo cual es una carencia que pueden traer de asignaturas previas (matemáticas, física). Ello sugiere que esta secuencia didáctica podría enriquecerse con una herramienta en la que se haga énfasis en la identificación anterior descrita (aunque cabe señalar que en este trabajo no se contempló como un objetivo). Concretamente puede incluirse un conjunto de ejemplos con distintas variables en la actividad 2 de la lectura “*Los modelos científicos: ¿qué son, cómo se hacen y para qué sirven?*”, puesto que aquel es el momento en el que se introducen estos conceptos. Además, puede retomarse y generar una discusión grupal en la presentación de los informes experimentales.

Finalmente, en relación con las **características de la recta** presentada en las gráficas, se obtuvo que aquella no parte del origen en 50% de las representaciones de CF1, mientras que en CF2 ascendió hasta 63% (ver figura 11). Fue importante lograr un aumento en este detalle porque tiene relevancia en el modelaje y generación de explicaciones, puesto que la relación temperatura vs presión no puede alcanzar el origen de la gráfica. En otras palabras,

se mejoró la obtención de una representación más apegada al modelo gráfico científicamente aceptado para estas variables.

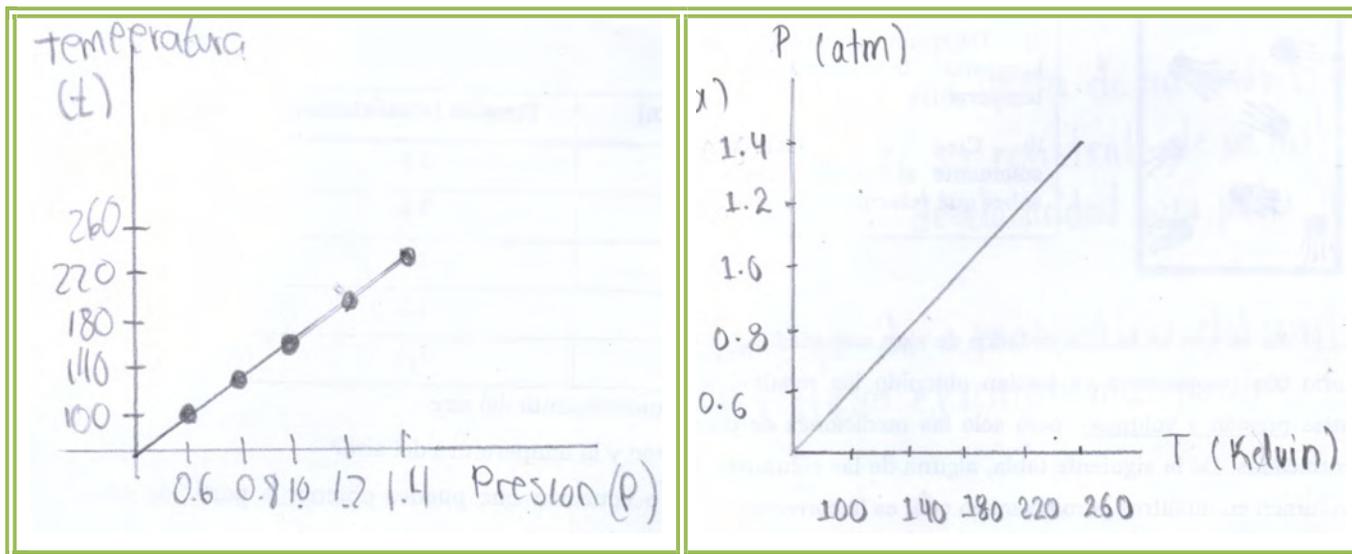


Figura 11. Ejemplos de gráficas presentadas por los alumnos. Obsérvese que en ambas la recta parte del origen. Además, en la de la izquierda los ejes aparecen invertidos.

Como comentario final del análisis del *inciso a* de esta pregunta (elaboración de gráficas), puede decirse que se trata de la que presenta menor frecuencia en respuestas adecuadas en toda la secuencia didáctica. Esto puede deberse a que se está trabajando con la elaboración de una gráfica, actividad que comúnmente es realizada por los alumnos en muchas ocasiones a lo largo de su vida académica. En ese contexto, se vuelve altamente susceptible de adquirir concepciones alternativas o distorsiones en cuanto al procedimiento para la elaboración adecuada. Por tanto, se podría estar lidiando contra ese cúmulo de ideas, razón que explicaría la complicación para obtener mejores resultados, aun habiéndolo abordado en la discusión grupal de los informes de la actividad experimental.

Una recomendación pertinente corresponde con cuestionar a los alumnos los procedimientos que utilizan. Preguntarles si, en este caso específico, “da lo mismo iniciar la gráfica en el origen” o no, y en general, pedirles que analicen la elaboración de las gráficas de los informes de sus compañeros. Pedirles que las comparen y se pregunten si los detalles que encuentren son importantes y deben tomarse en cuenta. Finalmente, no se puso una actividad semejante en el CI, por tanto, si es de interés convendría agregar un problema que implique la elaboración de una gráfica en aquel cuestionario, especialmente para poder contrastarlas con las que se elaboran en los cuestionarios finales.

b) Identificación de la relación que existe entre la temperatura y la presión

Las respuestas dadas por los estudiantes en este apartado, se clasificaron como sigue:

Tabla 41. Muestra la frecuencia, en número de alumnos y en porcentaje, de las respuestas obtenidas para esta pregunta. En cursivas aparece la respuesta adecuada.

	CF1 (42 alumnos)	CF2 (40 alumnos)
<i>Directamente proporcional</i>	33 (79%)	31 (77%)
Inversamente proporcional	2 (5%)	3 (8%)
La relación “es constante”	2 (5%)	4 (10%)
Respuesta en blanco	5 (11%)	2 (5%)

A partir de la tabla anterior, puede decirse que estos resultados son los más persistentes o constantes obtenidos en la secuencia didáctica, especialmente en lo que se refiere a la respuesta correcta.

En ambas aplicaciones se obtuvo que casi un 80% de los estudiantes respondieron que la relación que se les pregunta es directamente proporcional. La gran mayoría de ellos usaron estas dos palabras específicas, mientras que algunos respondieron que “si la temperatura sube, la presión también”, es decir, se trata de respuestas bastante sencillas. Si se observa la pregunta del cuestionario, ésta sólo cuestiona “¿cómo es la relación entre la presión y la temperatura del aire?”. Así, quizá los alumnos no tienen oportunidad de dar más detalles. Entonces, si se quisiera mayor profundidad habría que modificar la pregunta original.

Aún con lo anterior, hay un par de respuestas que muestran cierto dominio de los conceptos trabajados en la secuencia didáctica:

De CF1: “*A mayor temperatura, las moléculas se moverán más haciendo que la presión sea mayor.*”

De CF2: “*Conforme aumenta la temperatura aumenta el volumen, y por lo tanto la presión, las partículas del gas se mueven más rápido.*”

Como puede verse, aunque la pregunta no lo exige, estos estudiantes consideraron explicar la razón por la que la temperatura y la presión mantienen una relación directamente proporcional, y lo hicieron desde una perspectiva microscópica. Todo ello hace que se trate de respuestas excepcionales. De este tipo se obtuvo únicamente una en cada cuestionario final, y se trata de alumnos diferentes.

Por otro lado, dentro de esas mismas respuestas, 33 y 31 en CF1 y CF2 respectivamente, hubo algunas que indicaron que la relación entre temperatura y presión “*es proporcional*” (5

de 33 en CF1, y 6 de 31 en CF2). Esto sugiere la necesidad de modificar la pregunta solicitando un porqué de la respuesta, o bien, en otra sección del cuestionario, explorar qué entienden por “proporcional”, o si esto es considerado un sinónimo de “directamente proporcional”.

En cuanto a las respuestas que señalan que la relación “*es constante*”, lo que posiblemente se está queriendo señalar es que *los cambios son constantes* según se observa en la tabla de datos que aparece en el cuestionario. Como quiera que sea, esta respuesta tuvo una frecuencia muy baja.

c) Elaboración del modelo matemático

En cuanto al modelo matemático, por la complejidad del proceso de elaboración, se esperaba cierta diversidad en las respuestas. Vale la pena recordar la pregunta, textualmente indica “¿cuál es el modelo matemático o ecuación que puedes obtener a partir de estos datos?”. Como se ve, se solicita el modelo matemático como tal; no se indica detallar su elaboración, sin embargo, cierta cantidad de alumnos lo presentaron. También es importante hacer esta aclaración porque la clasificación de las respuestas obtenidas se relaciona con esto.

En el proceso de elaboración del modelo matemático, con el objetivo de estandarizarlo, pueden distinguirse las siguientes etapas:

Tabla 42. Se muestra una estandarización del proceso de elaboración del modelo matemático pretendido en esta pregunta.

Proceso de elaboración del modelo matemático	
1) Identificación de la relación entre las variables involucradas (sea directa o inversa).	Como en este caso es directamente proporcional, se plantea que $P \propto T$
2) Introducción de una constante de proporcionalidad, “ k ”.	La expresión quedaría, momentáneamente, como: $P \propto k \cdot T$
3) Obtención de la igualdad	Entonces queda $P = k \cdot T,$ o una expresión equivalente como $k = \frac{P}{T}$

En general, en las respuestas obtenidas por los estudiantes se observa que algunos presentaron la expresión correspondiente con la proporcionalidad ($P \propto T$), mientras que otros, al intentar avanzar en el proceso, llegaron a igualdades incorrectas, y otros sí

lograron alcanzar la igualdad en alguna de las dos expresiones admitidas en la tabla 42. Un último caso corresponde con “otras respuestas”, de las cuales no se tiene claridad en cuanto a cómo fueron elaboradas. Lo anterior se condensa en la siguiente tabla de resultados:

Tabla 43. Se observan los tipos de respuesta de los alumnos y su frecuencia. Se tienen los que establecieron al menos la proporcionalidad, y los que presentaron una igualdad válida. También aparecen los que plantearon modelos distintos a los anteriores.

Resultados del modelaje matemático en CF1 (42 cuestionarios)			
Alumnos que establecen la proporcionalidad $P \propto T$	Alumnos que llegan a una igualdad válida según la tabla 42	Alumnos que llegan a una igualdad no admitida	Alumnos que dan otras respuestas
4 (9%)	23 (55%), de los cuales: -Desarrollaron el modelo: 14 -No desarrollaron el modelo: 9	8 (19%) Ejemplos: 1) $k = P \cdot T$ 2) $T \propto \frac{1}{P}; \rightarrow T \propto \frac{k}{P} \rightarrow k = T \cdot P$	7 (17%) Ejemplos: 1) $T = \frac{P}{V}$ 2) $k = dgh$ 3) $k = \frac{K}{P}$

Como puede verse, hubo 23 alumnos (55%) que presentaron un modelo matemático adecuado en esta pregunta. De estos, 14 hicieron el desarrollo como se mostró previamente en la tabla 42, mientras que 9 no lo hicieron. Cabe señalar que la pregunta no lo solicita; habría que modificarla si se deseara observar el desarrollo.

Por otro lado, hubo 4 estudiantes que presentaron la proporcionalidad $P \propto T$. Si bien no avanzaron hasta obtener el modelo, su situación indica que pudieron elaborar la expresión matemática correspondiente a la tabla de datos (T vs P) que se les proporcionó en el cuestionario. Estas respuestas indican que se quedaron en la etapa 1 del proceso de elaboración mostrado en la tabla 42.

En segundo lugar en frecuencia, se tienen 8 alumnos que presentaron una igualdad “no admitida”. En los ejemplos se observa que tuvieron una idea cercana al modelo que se buscaba, sin embargo, el error en las 8 respuestas está relacionado con dificultades en el manejo de la expresión matemática (concretamente en los posibles despejes).

La sección de “otras respuestas” de la tabla 43 corresponde con alumnos que colocaron una expresión que no tiene un fundamento (ejemplo 1), o bien, no hay relación con el modelo matemático que se buscaba (ejemplos 2 y 3).

En cuanto al segundo cuestionario final se obtuvo:

Tabla 44. Muestra los tipos de respuesta, y la frecuencia, dadas por los alumnos para CF2 en cuanto a la elaboración del modelo matemático que se les pidió.

Resultados del modelaje matemático en CF2 (40 cuestionarios)			
Alumnos que establecen la proporcionalidad $P \propto T$	Alumnos que llegan a una igualdad válida según la tabla 42	Alumnos que llegan a una igualdad no admitida	Alumnos que dan otras respuestas
3 (7%)	23 (58%), de los cuales: -Desarrollaron el modelo: 16 -No desarrollaron el modelo: 7	12 (30%) Ejemplos: 1) $T \propto P \rightarrow k = \frac{T}{P}$ 2) $P \propto T \rightarrow P = T$	2 (5%) Ejemplo: 100 Kelvin = 0.6 atmósferas

En esta tabla puede verse que fue casi un 60% de los alumnos que llegaron a un modelo matemático adecuado según lo estipulado en la tabla 42. Se trata de un resultado casi idéntico al que se obtuvo en CF1, lo cual demuestra que a pesar de haber transcurrido un par de semanas, los estudiantes retuvieron esta habilidad. Por otro lado, es una de las preguntas de esta investigación con menor frecuencia en cuanto a respuestas correctas. Esto puede deberse a que el proceso de creación del modelo matemático resulte complejo para los estudiantes.

En CF2 también se encontraron alumnos que únicamente colocaron la proporcionalidad entre P y T, esto es $P \propto T$, aunque con una frecuencia bastante baja (7%), resultado casi idéntico que en CF1.

En cuanto a los estudiantes que llegaron a una igualdad “no admitida”, la frecuencia creció de un 19% (CF1) a un 30% (CF2). El aumento en el porcentaje podría indicar que hubo más alumnos que intentaron avanzar en el modelaje, sin embargo, no alcanzaron el resultado deseado. Es importante recordar que esta clasificación corresponde con respuestas que muestran un procedimiento relacionado con la elaboración del modelo, pero que no llegó a buen término. En la tabla 44 pueden verse 2 ejemplos: el primero corresponde con un caso en el que el despeje correspondiente estuvo mal realizado, y, en varias de las otras respuestas de esta clasificación, se observa la misma problemática. Esta persistencia sugiere la necesidad de trabajar cómo despejar correctamente puesto que es una herramienta para la creación de un modelo matemático.

Finalmente, las respuestas clasificadas como “otras” disminuyeron de 17% (CF1) a 5% (CF2), esto corresponde con 2 alumnos únicamente hacia el final de esta investigación. Uno de ellos es una respuesta en blanco, y otro se trata del ejemplo colocado en la tabla 44.

En resumen para esta pregunta, en la aplicación de CF2 se observó que prácticamente todos los alumnos (excepto 2) tiene una idea aproximada de lo que es un modelo matemático. Únicamente 3 (7%) lo plantearon como una proporcionalidad, mientras que 23 (58%) lo presentan correctamente, incluso muchos de ellos presentaron el desarrollo pertinente. Este resultado se mantuvo aun pasando el tiempo señalado entre CF1 y CF2. Por otro lado, al ser poco menos del 60%, corresponde con la pregunta que tuvo menor frecuencia de respuestas correctas. Finalmente, un 30% mostró un procedimiento relacionado con la elaboración del modelo, pero no fue logrado, debido principalmente, a dificultades con despejes en las expresiones matemáticas.

La **pregunta 6** se ubica en un contexto ajeno a la química, y tiene como objetivo probar la transversalidad de los conocimientos adquiridos en la secuencia didáctica. Concretamente, la elaboración de un modelo matemático a partir de una gráfica (inciso a), y la interpretación de la misma (inciso b).

En el **inciso a** se pregunta “¿cuál es el modelo matemático que representa el rendimiento de un corredor?”. Para responder, se les entregó a los alumnos una gráfica de distancia (m) vs tiempo (s). En ella se aprecian varios puntos que corresponden con distancias recorridas y los tiempos correspondientes.

Los resultados obtenidos para este inciso se clasificaron de manera semejante al inciso c de la pregunta 5. Es decir, en las respuestas dadas por los estudiantes se buscó el modelo correspondiente. Esto es:

$$d = k \cdot t, \text{ o bien, } k = \frac{d}{t}$$

Algunos alumnos presentaron el modelo, otros, el desarrollo aunque no se solicitó de esta manera, y algunos más escribieron la proporcionalidad entre la distancia y el tiempo ($d \propto t$), entre otras posibles respuestas. Lo anterior y su frecuencia se muestran a continuación:

Tabla 45. Muestra los tipos de respuestas y su frecuencia en cuanto a la elaboración del segundo modelo matemático en CF1. Hubo 6 respuestas en blanco (14%).

Resultados del modelaje matemático en CF1 (42 cuestionarios)			
Alumnos que dieron la proporcionalidad $d \propto t$	Alumnos que dieron una igualdad válida	Alumnos que dieron una igualdad no admitida	Otras respuestas
5 (12%)	<p>22 (53%), de los cuales:</p> <p>-Desarrollaron el modelo: 9 -No desarrollaron el modelo: 13</p>	<p>3 (7%) Ejemplos: 1) $d \propto T \rightarrow k = \frac{T}{d}$ 2) $k = D \cdot t$</p>	<p>6 (14%) Ejemplos: 1) $D = 1(5 \frac{m}{s})$ 2) $k = \frac{m}{s}$ 3) $r = \frac{V}{T}$</p>

Como puede verse en la tabla anterior, al finalizar la secuencia, 53% de los estudiantes pudieron presentar un modelo matemático adecuado según la gráfica que se les proporcionó. Nuevamente, la pregunta pide únicamente el modelo matemático, sin embargo, hubo 9 alumnos que hicieron el desarrollo, mismo que fue correctamente planteado.

También hubo una frecuencia baja de alumnos (12%) que únicamente presentaron la proporcionalidad correspondiente ($d \propto t$), si ésta se considera como una respuesta más básica, puede decirse que son muchos más los que lograron consolidar la elaboración del modelo.

Por otro lado, aparece una problemática semejante a la encontrada en la elaboración del modelo de la pregunta 5, esto es, respuestas cuyo conflicto cae en la manipulación de la expresión matemática, es decir, hay alumnos que hicieron el esfuerzo por presentar su modelo pero no fue llevado a buen término por no despejar correctamente. Ejemplos de lo anterior se muestran en la columna “alumnos que dieron una igualdad no admitida” (tabla 45), y, como puede verse, son 7% del total.

Finalmente, en la aplicación de CF1 se obtuvo 14% de “otras respuestas”. Éstas corresponden con expresiones que no tienen una relación tan clara con la elaboración del modelo solicitado. Tanto para estos casos en la pregunta 5 como para los de la 6, sería pertinente pedir a los alumnos que expliquen cómo elaboraron su modelo para ubicar su dificultad y, de ser necesario, revisar el método integralmente junto con ellos.

Tabla 46. Se observan los tipos de respuestas y la frecuencia obtenidos en la elaboración del segundo modelo matemático en CF2. Hubo 1 respuesta en blanco (2%).

Resultados del modelaje matemático en CF2 (40 cuestionarios)			
Alumnos que dieron la proporcionalidad $d \propto t$	Alumnos que dieron una igualdad válida	Alumnos que dieron una igualdad no admitida	Otras respuestas
2 (5%)	<p>25 (63%), de los cuales:</p> <p>-Desarrollaron el modelo: 13</p> <p>-No desarrollaron el modelo: 12</p>	<p>5 (12%)</p> <p>Ejemplos:</p> <p>1) $D = \frac{k}{t}$</p> <p>2) $d = \frac{t}{k}$</p>	<p>7 (18%)</p> <p>Ejemplos:</p> <p>1) $6 \frac{m}{s}$</p> <p>2) “Uniforme y constante”</p> <p>3) $t \propto d \rightarrow \alpha = \frac{d}{t}$</p>

Como puede verse, los resultados se mantuvieron muy semejantes en relación con CF1. El cambio más relevante corresponde con un aumento de 10% en las respuestas que presentan un modelo matemático adecuado. Esto quiere decir que aún después de dos semanas, la elaboración de modelos permanece dentro de los conocimientos de los estudiantes.

Por otro lado, las respuestas que plantean la proporcionalidad ($d \propto t$) son únicamente 2 (5%) y las que demuestran problemas en la manipulación de las expresiones matemáticas son 5 (12%). Estas frecuencias también son semejantes a las obtenidas en CF1.

En cuanto a respuestas en blanco, se obtuvo únicamente un caso (2%) en CF2, mientras que en CF1 fueron 6 (14%). Esto indica que se logró abatir casi en su totalidad a las respuestas que, hipotéticamente, no tenían una noción mínima de qué responder cuando se pide un modelo matemático.

Para la clasificación de “otras respuestas” aparecen dos ejemplos que llaman la atención (2 y 3 en la tabla 46): se trata de respuestas que tienen poca relación con el concepto de modelo matemático tal como se solicita en la pregunta planteada. El ejemplo 2, “uniforme y constante”, es una idea bastante difusa, alejada de una igualdad; mientras que el ejemplo 3 perdió de vista la aparición de una constante “k” y, posiblemente, utilizó a “ \propto ” como un equivalente. Lo anterior sugiere que, presumiblemente, algunos de los alumnos fueron afectados por el tiempo que pasó entre CF1 y CF2, así, llegaron a este tipo de respuestas, mismas que no aparecieron en el primer cuestionario final. Como se había mencionado anteriormente, está la opción de pedirles una justificación a estos alumnos, así como revisar junto con ellos el procedimiento integralmente.

Una observación que vale la pena hacer es que ninguno de los alumnos recurrió a una expresión apropiada para una relación inversamente proporcional, esto es, $d \propto \frac{1}{t}$, ni ninguna derivada de ésta. Así, pareciera que hay claridad en cuanto a que este tipo de proporcionalidad no tiene relación con el fenómeno planteado.

Para terminar la presentación de los resultados y análisis de esta pregunta hay que comentar dos puntos:

Primero. Esta pregunta tiene una relación estrecha con el inciso c de la pregunta 5. En ambas se pide obtener un modelo matemático y, si se comparan las 4 tablas de resultados correspondientes a los resultados (2 de CF1 y 2 de CF2 para cada caso), se observan resultados concordantes. Es decir, los resultados de ambas preguntas son bastante semejantes en cuanto a la obtención del modelo matemático, aunque tengan contextos muy distintos. De ellos se retoma únicamente que alrededor de 60% de los alumnos presentaron el modelo matemático correspondiente, acompañándolo con el desarrollo en aproximadamente la mitad de los casos.

Segundo. Si bien ambas preguntas son de complejidad semejante, una diferencia importante entre ellas es que los alumnos tuvieron que abordar el problema de forma distinta aunque la tarea fuera la misma: obtener un modelo matemático. Para ello, en la pregunta 5 se da una tabla de datos, mientras que en la 6 se proporciona una gráfica que debió interpretarse. Entonces, dado que la obtención del modelo se logró en aproximadamente un 60% de las respuestas de cada pregunta, se puede afirmar que hubo una concordancia tal que representa una evidencia para demostrar que los estudiantes pudieron plantear un modelo matemático, al menos en la proporción de alumnos que se menciona.

No obstante lo anterior, es prudente señalar que otra interpretación de este resultado y las preguntas que le conciernen, no permiten distinguir entre procesos memorísticos, o bien, de comprensión de la elaboración de modelos. Es por ello que resultaría necesario robustecer las cuestiones correspondientes, realizar una entrevista, o continuar la investigación con el grupo de estudiantes puesto que ampliar la presente resulta inviable.

Finalmente, el **inciso b** de la pregunta 6 pide a los alumnos que interpreten la gráfica que se les dio. Esto mediante la pregunta que indica que “*si el objetivo del corredor es superar una rapidez de 6 m/s, ¿le falta entrenar o ya cumplió su meta?*”.

La clasificación y frecuencia de las respuestas aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 47. Muestran los tipos de respuestas obtenidas y su frecuencia en cada uno de los cuestionarios finales. Entre paréntesis aparecen los porcentajes correspondientes. En negritas aparece la respuesta correcta. Nota: Algunas de las respuestas clasificadas como “le falta entrenar” explicaron más detalles.

	CF1 (42 alumnos)	CF2 (40 alumnos)
“Le falta entrenar”*	22 (52%)	37 (93%)
“Ya cumplió su meta”	15 (36%)	3 (8%)
Respuestas en blanco	5 (12%)	0 (0%)

Como puede verse, en la aplicación inmediata a la terminación de la secuencia didáctica, apenas se alcanzó poco más de 50% de alumnos que detectaron que al corredor le hacía falta entrenar, mientras que 36%, frecuencia relativamente alta, indicó que ya la había cumplido. También ha de decirse que hubo 12% de respuestas en blanco. Además de lo anterior, las respuestas vistas en CF1, ya sea en un sentido o en otro, son bastante simples. De aquel 50%, únicamente 5 alumnos escribieron algo más a modo de explicación. Un ejemplo de estos es:

“Le falta entrenar, porque tiene rapidez de 5 m/s, y esa rapidez es la constante”

Entonces, ocurrió que para CF1, hubo solamente una incidencia de 52% en cuanto a respuestas que pudieron interpretar la gráfica para escribir una respuesta, misma que en la mayoría de los casos fue simple. Ésta frecuencia puede considerarse baja dada la relativa sencillez de la pregunta. También hubo pocos alumnos que explicaron con algunos detalles y entre estas respuestas, únicamente una indica que encontró el valor de la constante del modelo matemático trabajado en el inciso a.

Por otro lado, las respuestas incorrectas (frecuencia de 36%) y las que aparecen en blanco (12%) en CF1, sugieren que hubo una deficiencia en la interpretación de la gráfica. Es entonces que se puede observar la importancia de la sesión de retroalimentación, puesto que en los resultados de CF2 se presentó un cambio importante.

Para CF2 se pudo revertir casi completamente la situación descrita anteriormente. Se obtuvo que 93% de los alumnos identificaron que al corredor le faltaba entrenar, esto es, interpretaron la gráfica adecuadamente. Si bien se trata de una interpretación sencilla, vale la pena destacarla por el cambio tan importante que hubo en la frecuencia observada en las

respuestas correctas; esta interpretación “simple” fue vista por sólo la mitad de los alumnos en CF1. En cambio en CF2 podría decirse que la mayoría, de manera implícita, encontró que la rapidez expresada en la recta es de 5 m/s, es decir, el valor de la constante.

Además de lo anterior, en CF2 las respuestas clasificadas como correctas también se observa mayor riqueza, es decir, explicaron por qué “al corredor le falta entrenar”. En CF1 hubo únicamente 5, mientras que en CF2 hubo 25 ideas que acompañaron a la respuesta (la mayoría de éstas, correctas y basadas en la gráfica). Ejemplos de éstas son:

“No porque según el modelo matemático sigue en 5 m/s”

“Le falta porque al sustituir queda $k = 20 \text{ m} / 4 \text{ s} = 5 \text{ m/s}$, por lo que no ha cumplido”

“Le falta cumplir su objetivo debido a que su rapidez es constante, pues al dividir cualquier distancia entre tiempo su resultado será el mismo que es 5 m/s”

Como puede verse, en los primeros 2 ejemplos, los alumnos apelaron a las características del modelo matemático. El segundo incluso lo aplicó al sustituir los valores en la expresión de la constante “k”. En tanto, la última respuesta abordó el problema determinando la rapidez en varios puntos de la gráfica, lo cual, al final, también es la determinación de la constante, es decir, lo hizo de manera “implícita” como se había señalado antes.

Para finalizar esta pregunta, puede agregarse que los alumnos lograron aplicar el conocimiento adquirido acerca de los modelos matemáticos en un contexto distinto al químico, es decir, la transversalidad fue llevada a buen término con un caso, si se quiere, “sencillo”. En perspectiva a futuro podría seguirse explotando esta herramienta con ejemplos propios de otros contenidos, más detallados y, paulatinamente, ajenos a la disciplina.

3.2 De los informes de la actividad experimental

Para concluir con los resultados y su análisis, han de presentarse los **informes de la actividad experimental**.

De inicio, es necesario aclarar que se recibieron menos informes que equipos de estudiantes. Esto es debido a que no los realizaron, o fueron presentados incompletos, de tal manera que se tienen 9 informes de 13 que se esperaban. Por otro lado, es necesario decir que a los estudiantes se les entregó un documento donde se señalaban las

características del informe de la actividad experimental. Los 9 informes que se consideraron “entregados” cumplieron, en lo general, con los requisitos especificados; en tanto que los “no entregados” abarcaron un 50% de los requisitos, o menos.

Representaciones gráficas del fenómeno de estudio

Sólo en uno de los informes hubo una gráfica que presenta invertidos los valores del eje “y”, esto es, en la posición del valor 0, ubicaron al 60 y hacia arriba presentan valores menores. En el resto de informes se observa que presentan numeraciones correctas, además de que respetan la proporcionalidad, es decir, elaboran la graduación de los ejes adecuadamente.

Además de lo anterior, todos ubicaron bien las variables dependiente e independiente y, en un contraste con los cuestionarios finales, se observa que en CF1, la mayoría de estudiantes siguió identificando dichas variables de manera correcta, mientras que para CF2, este porcentaje disminuyó ligeramente.

Por otro lado, en algunos informes se obtuvieron resultados que indican errores de cálculo. Como ejemplos se tienen al equipo 6 y el 14. El primero informa volúmenes de 12, 14, 16, 19 y 22 m³, lo cual es imposible en este trabajo práctico (ellos usaron un globo convencional para medir cambios en el volumen al modificar la temperatura), mientras que el segundo equipo reporta presiones de 0, 1, 3, 5, 7 10 y 14 cm, es notable que algo falló en sus mediciones porque expresan la presión en centímetros. Ocorre que usaron el manómetro que está constituido por una manguera de plástico en forma de U y lo que están indicando es la altura que alcanzó la columna de agua en las distintas temperaturas que probaron.

Aún con lo anterior, sus datos permiten ver la relación directamente proporcional que tienen el volumen y la temperatura (equipo 6), o bien, entre presión y temperatura (equipo 14). Entonces, el error está en el cálculo del volumen y la presión. Ello sugiere que hay que mejorar la supervisión en esta parte de la experimentación para que, idealmente, obtengan los volúmenes y presiones correctos. Una alternativa “no muy ortodoxa” ni propiamente “deseable” es que se expresen las circunferencias obtenidas en el globo usado, las cuales son crecientes y *reflejan* los aumentos del volumen que se esperan, o escriban la presión en términos de la altura que alcanza la columna del manómetro, tal como lo presentaron.

En relación con la temperatura (expresada en Kelvin) no se encontró dificultad, sin embargo, hay que tomar en cuenta que la actividad experimental se realizó en equipo, por lo

cual, los posibles problemas individuales en este cálculo pueden quedar “ocultos”. Por otro lado, en las preguntas de autoevaluación del informe *KPSI* se encontró que los alumnos perciben de sí mismos que en cuanto al procedimiento de conversión, “lo conocen parcialmente”, “lo conocen bien”, o “lo dominan como para explicarlo a alguien más” en proporciones semejantes (un tercio de cada clasificación referido al total de estudiantes). Es por lo anterior que puede afirmarse que de las tres variables, probablemente la de temperatura es la que requeriría menor intervención, e incluso, podría solicitarse colaboración entre compañeros para mejorar este aspecto, puesto que al menos un tercio señala que maneja el procedimiento a un nivel satisfactorio.

Modelos microscópicos que describen el comportamiento molecular de los gases

- Ley de Boyle, relación entre presión y volumen con temperatura constante: Equipos 1, 2 y 4.

En los dibujos de la figura 12 se observa que a mayor presión sobre el recipiente, hay menor espacio entre las moléculas, y en estos espacios no presentan otro tipo de componente. Tampoco muestran que las moléculas “crezcan” de forma considerable, lo cual pudo surgir como una concepción alternativa, por tanto, hasta este punto, pueden considerarse representaciones correctas, con la salvedad de los ligeros cambios en el tamaño.

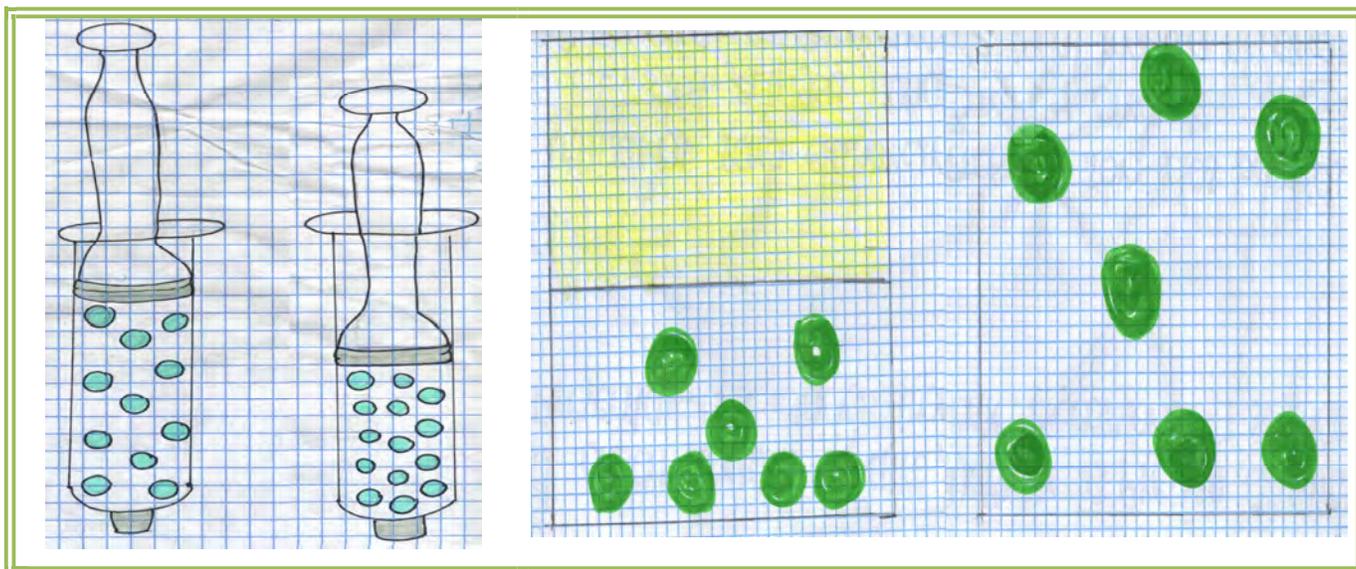


Figura 12. Se observan representaciones microscópicas presentadas por los alumnos en los informes de la actividad experimental de la ley de Boyle. A la izquierda se tiene una jeringa en la que disminuye el volumen del gas al aumentar la presión ejercida sobre ella. En esta representación se aumentó la cantidad de gas. A la derecha se tiene un “recipiente” en el que aparece un volumen pequeño por la presencia de un “objeto” en la parte de arriba, al final, habiendo retirado el objeto, el volumen del gas aumenta. Nótese que la cantidad de moléculas de aire es la misma antes y después.

Por otro lado, el equipo 1 puso una cantidad diferente de moléculas en sus representaciones (ver figura 12, izquierda), esto es un detalle a tener en cuenta porque usaron una muestra constante de aire. También se observa en los dibujos que se desatendió el movimiento molecular, lo cual puede deberse a que los alumnos omitieron a la influencia de la temperatura en su representación.

Finalmente, el equipo 4 puso una representación macroscópica de su experimento aunque en las instrucciones se pidió un dibujo a nivel microscópico.

- Ley de Charles, relación entre volumen y temperatura con presión constante: Equipos 6 y 10.

En las representaciones de ambos equipos puede apreciarse que el movimiento molecular aumentó al subir la temperatura. Los alumnos representan este hecho con flechas o líneas que de algún modo indican “movimiento” o “vibraciones”.

En uno de los equipos (el 6), se observa vacío entre las moléculas antes y después de modificar la temperatura. En el otro grupo (el 10), también está ese espacio pero ocurre que unas “partículas pequeñas” desaparecieron al subir la temperatura, ello sugiere que está apareciendo una concepción alternativa, o bien, la comprensión del concepto de “vacío” resulta complicado para ese equipo de trabajo, quienes además disminuyeron la cantidad de moléculas (figura 13). Para ambos equipos puede asumirse que no intentaron representar que las moléculas se hacen más grandes ni más pequeñas de forma apreciable.

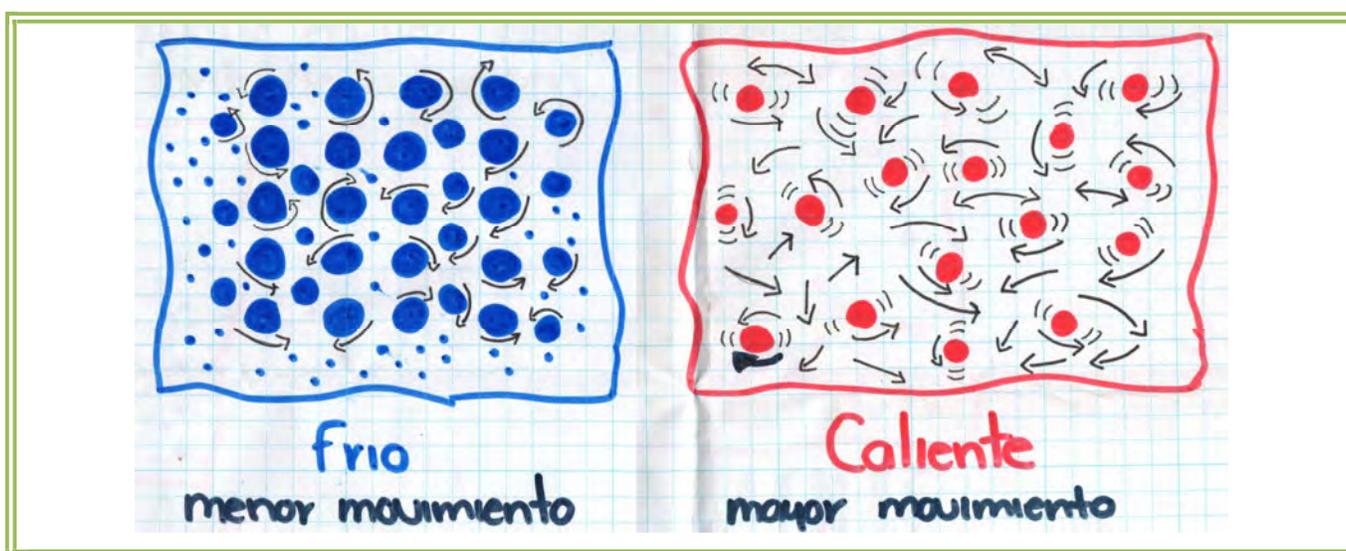


Figura 13. Se muestra la representación microscópica dada por los alumnos para la ley de Charles (equipo 10). Se observa que ante los cambios en la temperatura, aumenta el movimiento molecular y también que consideraron colocar “partículas pequeñas” entre las moléculas del gas.

- Ley de Gay-Lussac, relación entre temperatura y presión con volumen constante:
Equipos 11, 12, 13 y 14.

En los equipos 11 y 14 se observa que modificar la temperatura afecta el movimiento molecular. Los estudiantes lo señalan al dibujar flechas y puede interpretarse que éstas tienen que ver con el aumento de presión. El 11 muestra la misma cantidad de moléculas antes y después del fenómeno, mientras que el 14 aumenta considerablemente en este aspecto (figura 14). Ninguno de estos equipos señala que las moléculas cambien su tamaño.

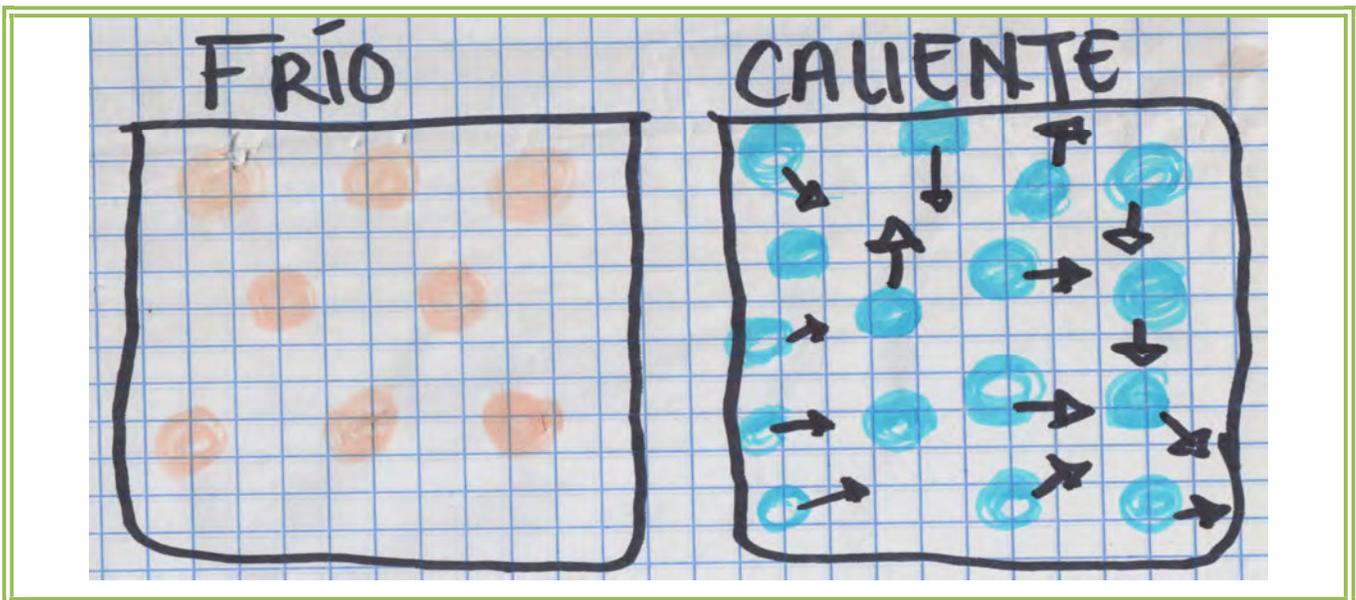


Figura 14. Representación microscópica del equipo 14 (ley de Gay-Lussac). Muestra que al aumentar la temperatura, cambia el movimiento molecular, justificando así el aumento en la presión (con las flechas).

Por otro lado, el equipo 12 representa un cambio considerable en la cantidad de moléculas de aire para antes y después de calentar el recipiente, lo cual podría tener sentido para ellos al explicar que la presión aumenta, excepto porque la cantidad de aire no cambia. También colocan el manómetro y se observa un cambio en la altura de la columna de agua pero aparece invertido, tal como si la presión al interior de la botella hubiera disminuido al calentarla. Entonces puede decirse que es una representación contradictoria. Por un lado, no tendría que aumentar la cantidad de aire, y aunque así fuera, la presión aumentaría y se reflejaría en el manómetro. En relación con el dibujo de la lectura del manómetro puede deberse a que recordaron mal el uso del instrumento y sencillamente lo dibujaron al revés. En última instancia, este equipo sí representa que la presión cambió (ver figura 15).



Figura 15. Se tiene la representación microscópica de uno de los equipos para la ley de Gay-Lussac.

Finalmente, el equipo 13 señala que antes de calentar, el aire se encuentra en la parte baja del recipiente, y después de aumentar la temperatura, las moléculas suben y ocupan también el espacio superior. Esto podría tener sentido para el estudiante cuando busca justificar aumentos en la presión en virtud de que el manómetro que usaron (manguera en forma de U conteniendo agua) “marca cero” al inicio del experimento y después, al calentar, *“el aire que estaba sólo abajo puede subir y empezar a empujar el agua del manómetro”*, justificando así los cambios en la presión (incluso aparece dibujado un instrumento que “sube” después de calentar). Toda esta situación es una idea distorsionada que hubo que trabajar en la retroalimentación.

Conclusiones obtenidas por los alumnos

Para la entrega de conclusiones se les pidió a los alumnos que respondieran tres preguntas, una de las cuales se trata de la representación de las moléculas bajo los efectos de las variables que trabajaron (modelo descrito y analizado en la sección anterior), por tanto, sólo falta analizar dos cuestiones. Éstas se analizarán por separado:

1. De acuerdo con el experimento, ¿cómo es la relación entre las variables que probaron? Expliquen cómo les ayudó la gráfica para obtener una ecuación. Agreguen el modelo matemático obtenido en la gráfica, ¿creen que dicho modelo representa el comportamiento del gas?

- Ley de Boyle, relación entre presión y volumen con temperatura constante: Equipos 1, 2 y 4.

Los tres equipos señalan que la relación entre las variables P y V es inversamente proporcional. También indican que la ecuación que obtienen es $k = P \times V$. Dos de los equipos (el 1 y el 2) profundizan al comentar que al aumentar la presión en el émbolo, disminuye el volumen del gas que está al interior de la jeringa.

- Ley de Charles, relación entre volumen y temperatura con presión constante: Equipos 6 y 10.

Ambos equipos señalan que encontraron una relación directamente proporcional entre las variables volumen y temperatura; indican que llegaron a esta conclusión porque observaron que aumentar la temperatura provoca que se incremente el volumen del aire.

En relación con la ecuación que se les solicita el equipo 6 no la presentó, sin embargo, en virtud de que mencionan que la relación es directamente proporcional (porque obtuvieron datos que así lo reflejan) puede pensarse que la dificultad en este caso es el procedimiento para la obtención del modelo matemático.

Por otro lado, el equipo 10 coloca el desarrollo de la ecuación. Indican que: $V \propto T \rightarrow V = kT$, por lo tanto, $k = \frac{V}{T}$

- Ley de Gay-Lussac, relación entre temperatura y presión con volumen constante: Equipos 11, 12, 13 y 14

El equipo 11 indica que las variables son directamente proporcionales, además, en su informe presenta el desarrollo del modelo matemático basándose en su trabajo experimental, señalan que obtuvieron que $P \propto T \rightarrow P = kT$, y por lo tanto, $k = \frac{P}{T}$

Por su parte, el equipo 12 indica en su texto que “la relación entre las variables no fue constante, debido a que no aumentó la misma cantidad de Kelvin en las cinco mediciones”. Esto indica que ellos esperaban que cada aumento de temperatura tuviera como

consecuencia *el mismo* aumento de presión. Sin embargo, observando los datos que obtuvieron sí existe una relación directamente proporcional entre las variables, lo cual es retomado por ellos en una conclusión posterior. Por otro lado, no presentaron un modelo matemático derivado de sus datos sino que señalan que “obtuvieron” que $P = \rho gh$. Esto refleja que hubo confusión con respecto a que deberían haber obtenido su propia ecuación (la que presentaron corresponde con la que utilizaron para determinar la presión en el manómetro). Al parecer, estos estudiantes (excepto uno) pudieron corregir esta idea puesto que en los cuestionarios finales presentaron otras respuestas cuando se les solicitó elaborar un modelo matemático (esto se mostró en la sección correspondiente).

El equipo 13 señala que la relación entre las variables es directamente proporcional y únicamente presenta que $P \propto T$ como un modelo matemático e indican que éste representa el comportamiento del gas.

Finalmente, el equipo 14 dice que “la relación entre las variables es constante” sin dar mayor explicación, aunque más adelante señalan que “las variables son proporcionales porque si aumenta la temperatura, la presión también lo hace”. Lo anterior refleja que hay cierta confusión entre los términos “constante” y “proporcional”. Esto es una situación que también se detecta en el equipo 12, comentado previamente. En los cuestionarios finales se vio que la incidencia de esta situación fue mínima.

2. Previamente se hizo una lectura y discusión histórica en la que se habló del trabajo de otros investigadores (Boyle – Mariotte, Charles, Gay – Lussac), *¿tú y tu equipo coinciden con las conclusiones a las que ellos llegaron? Justifiquen su respuesta basándose en sus resultados experimentales, en su gráfica y en su modelo matemático.*

Antes de comentar las respuestas vertidas en los informes experimentales para esta pregunta (en cursivas), es necesario retomar las actividades de la lectura histórica, concretamente las referidas a la primera propuesta de modelo matemático solicitado a los alumnos ante cada relación entre variables. Téngase en cuenta que el texto que se les entregó, fue leído de forma grupal y en él se les dio a conocer el contexto histórico en el que se desarrollaron las leyes de los gases. En aquella sesión también se realizaron las actividades ahí señaladas.

En las evidencias producidas por los estudiantes, realizadas en equipos, mostraron que entre un 50% y 60% de los integrantes del grupo pudieron realizar los modelos matemáticos correspondientes. Por otro lado, es necesario mencionar que antes de la lectura histórica se realizó la que corresponde a “los modelos como herramienta científica”, en la cual se trabajó la construcción de ecuaciones.

Lo anterior lleva a pensar que conocer pormenores de primera mano (la contextualización histórica), en conjunto con el método para proponer una ecuación, permitieron llevar a buen término el primer intento por crear un modelo matemático en al menos la mitad del grupo. Esto se puede observar en una respuesta dada por uno de los equipos: “*consideramos que las ideas siguen siendo correctas, ya que siguen dando resultados buenos*” (en referencia a que el comportamiento descrito por las leyes de los gases tiene sentido en la época actual).

Naturalmente, para los alumnos que no alcanzaron el objetivo, hubo que darles apoyo en la misma sesión de la lectura. Esto fue realizado a modo de discusión grupal.

Además de lo anterior, el contexto histórico fue retomado en el informe como se verá a continuación, en el análisis de las respuestas para la pregunta con que se inicia esta sección:

- Ley de Boyle, relación entre presión y volumen con temperatura constante: Equipos 1, 2 y 4.

Todos los equipos señalan que “coinciden con la ley de Boyle”. Sin embargo, el equipo 4 en particular indica que “coincidimos porque si agregamos *más volumen* (aire) va a aumentar la presión”, lo cual es ligeramente distinto al enunciado de Boyle. Esta idea puede haber surgido a partir del diseño experimental que plantearon (fue diferente al de los otros equipos). En él “inyectaban” aire a una probeta con tubos de vidrio con agua. Estos les marcaban los cambios de presión. En este contexto su conclusión tiene sentido, aunque en realidad la cantidad de aire debiera ser constante.

- Ley de Charles, relación entre volumen y temperatura con presión constante: Equipos 6 y 10.

Los dos equipos afirman que, de acuerdo con sus resultados, “coinciden con la ley de Charles”. Para ello justifican brevemente explicando que al aumentar la temperatura,

aumenta el volumen. Además de lo anterior, el equipo 10 agrega que tuvieron una dificultad: ocurrió que en cierto momento, aunque la temperatura aumentara, el volumen fue constante. Sencillamente ocurrió que su recipiente no estaba bien sellado y los alumnos pudieron identificarlo como una anomalía. Esto no les impidió encontrar la relación entre las variables.

- Ley de Gay-Lussac, relación entre temperatura y presión con volumen constante: Equipos 11, 12, 13 y 14.

El equipo 11 indica que “no está de acuerdo con lo que se afirma en la ley de Gay-Lussac” porque “al sustituir en la ecuación que se obtiene después de realizar la gráfica, no se obtiene un valor constante”. Ocorre que al hacer el cálculo con sus datos experimentales, se obtiene un valor *casí* constante. Probablemente los alumnos esperaban un dato exactamente igual en todos los casos, es decir, propiamente una constante.

El resto de los equipos (12, 13 y 14) informan que, basándose en sus resultados, “coinciden con la conclusión a la que llegó Gay-Lussac.” Hacen una justificación breve en la que retoman la relación directamente proporcional entre presión y temperatura que encontraron en su experimentación.

Comentarios finales del análisis de los informes de la actividad experimental:

La mayoría de alumnos presenta gráficas que cumplen con identificar correctamente a las variables dependiente e independiente. También hicieron una buena graduación de los ejes, es decir, respetaron la proporcionalidad de los mismos. Por tanto, en sus gráficas se observan con claridad las distintas relaciones entre las variables que se analizaron.

La dificultad que se identificó consiste en calcular adecuadamente los valores obtenidos experimentalmente para las variables presión y volumen. Esto indica que es un aspecto al que hay que dedicar más tiempo del que se invirtió en la aplicación de esta SD para aclarar ***¿cómo obtener las unidades de medida de la presión, volumen y temperatura?***

En relación con las representaciones microscópicas, la mayoría de alumnos presentó dibujos bien respaldados en sus resultados experimentales, es decir, justificaron

adecuadamente de acuerdo con lo que observaron. Así, presentan que cuando aumenta el volumen, las moléculas ocupan más espacio y se distribuyen más ampliamente en el recipiente correspondiente; también dibujan que al incrementar la temperatura, aumenta el movimiento molecular; quizá la característica que no apareció como tal fue una representación de los cambios en la presión, y es que incluir estas variaciones en un dibujo puede resultar en una tarea bastante compleja, incluso para estudiantes más avanzados. Esto indica que, con el fin de mejorar la SD, habría que cuestionarles y discutir con ellos ***¿cómo se puede representar que las moléculas ejercen mayor o menor presión mediante un dibujo?*** Esperando que reconozcan aspectos relevantes como la cercanía y/o el movimiento molecular como características útiles para simular los cambios en la presión.

En un par de equipos parecen insinuar que las moléculas pueden cambiar de tamaño, sin embargo, en sus dibujos apenas es perceptible esta característica, por tanto, podría haber sido debido a falta de atención al realizarlo y no que genuinamente los alumnos creen que “las moléculas pueden crecer” (ver ejemplo en la figura 12 y 15).

Por otro lado, una característica común en varios equipos es que, al dibujar el “antes” y el “después” de modificar las variables de estudio, dibujan distinta cantidad de moléculas en sus recipientes, cuando ellos trabajaron en condiciones en las que no permitieron cambiar la cantidad de aire (ver figuras 12 izquierda, 13, 14 y 15). En relación con este aspecto, sólo el equipo 4 menciona que hubo un “aumento de (la cantidad) de aire”. Por tanto, podría pensarse que esta situación corresponde con un descuido al momento de realizar los dibujos, sin embargo, no está por demás comentar a los estudiantes que deben ser cuidadosos en este sentido. Por ejemplo, cuestionándoles si deberían tener cuidado o no en la cantidad de moléculas que dibujan.

Finalmente, sólo uno de los equipos (el 10) hizo una representación en la que se observan puntos pequeños entre las moléculas (figura 13). Hay que tener este aspecto en consideración porque una concepción alternativa reportada corresponde con que “entre las moléculas del aire hay más moléculas, o polvo” y no vacío. El mismo equipo de estudiantes presentó otro dibujo donde estos puntos pequeños desaparecieron.

En resumen, para la creación de modelos (particularmente dibujos), puede decirse que los estudiantes dieron representaciones que explican satisfactoriamente, al menos hasta cierto grado, el comportamiento experimental de los gases. Por otro lado, ideas como el “aumento del tamaño molecular”, o las “variaciones en la cantidad de moléculas” hacen difícil la interpretación. Naturalmente, al ser la primera actividad en el año escolar fuertemente

enfocada al modelaje, aún hay áreas de oportunidad que habrían de trabajarse para mejorarse con otras actividades. En este sentido, un par de propuestas son discutir en la sesión de retroalimentación si es posible modificar el tamaño de las moléculas y/o aumentar su cantidad en los dibujos, o bien, preguntar acerca de estos aspectos en los cuestionarios finales, aunque ya de por sí es un documento muy extenso.

En lo que corresponde a las conclusiones de los informes, todos los alumnos encontraron la relación que se buscaba entre las variables, y así lo reportaron. Es decir, todos señalan que son directamente o inversamente proporcionales, según corresponda, incluso aquellos equipos que parecían tener cierta confusión entre los conceptos de “proporcional” y “constante”.

Acerca de los modelos matemáticos que debieron obtenerse, se observa que los alumnos que trabajaron la ley de Boyle (3 equipos) sí lograron la ecuación; de los que ejecutaron la ley de Charles (sólo 2 equipos), uno presentó el desarrollo del modelo, mientras que el otro únicamente mencionó que la relación entre volumen y temperatura es directamente proporcional. Para la ley de Gay-Lussac, investigada por 4 equipos, ocurrió que uno pudo desarrollar el modelo, otro señala que la ecuación de la presión hidrostática ($P = \rho gh$) es el modelo que obtuvieron, y los últimos dos mencionan únicamente que la relación entre presión y temperatura es directamente proporcional ($P \propto T$).

En resumen, 5 de los 9 equipos sí obtuvieron el modelo matemático correspondiente, 3 sólo señalan la proporcionalidad entre las variables (directa o inversa) y 1 presentó otra ecuación como “su modelo”, aunque reconoció la relación entre sus variables.

Para terminar, en la actividad que solicita que los estudiantes contrasten sus conclusiones con las leyes de Boyle, Charles y Gay-Lussac, ocho de los nueve equipos manifestaron estar de acuerdo con los investigadores correspondientes. Justificaron este dicho con sus resultados experimentales y encontraron que obtuvieron observaciones semejantes para el comportamiento del estado gaseoso, aunque sus metodologías hayan sido muy diferentes en términos de instrumentación, es decir, reconocieron que aunque sean épocas diferentes, las aportaciones de Boyle, Charles y Gay-Lussac son vigentes aún.

El único equipo (11) que dijo explícitamente que no estaba de acuerdo, tomó esa postura porque el cálculo del valor de “k” en su modelo, no es exactamente el mismo para cada medición. Sin embargo, en el informe del mismo grupo de estudiantes, reconocen la relación

directamente proporcional entre sus variables (temperatura y presión), esto significa que tuvieron esta contradicción que posiblemente no detectaron.

En perspectiva a futuro, puede señalarse que hay que mejorar algunos puntos que no son objetivos centrales en esta SD. Entre otros aspectos, se trataría de las metodologías y su redacción, así como la escritura de unidades y los pequeños detalles que surgieron en las gráficas. Puede decirse que la mayoría de las que se obtuvieron como resultado de la aplicación de esta SD cumplen, al menos, con el propósito de *presentar los procedimientos* experimentales correctos y muestran una organización *comprensible* de los datos obtenidos, sin embargo, no pueden considerarse totalmente apropiadas. Una mejora sustancial en estos aspectos correspondería con un objetivo plausible para el curso anual completo.

Una de las actividades realizadas fue la exposición de informes y “evaluación entre pares” mediante tarjetas verdes, rojas y amarillas. Los comentarios hechos por los alumnos fueron principalmente a cuestiones “de forma” y muy pocas observaciones “de fondo”. Esto indica que hay que trabajar en la capacidad de criticar objetivamente el trabajo de los demás.

Hay que tener en consideración que como contexto se tuvo a un grupo de estudiantes que no habían tenido alguna actividad que tuviera como protagonista al concepto de modelo y creación de modelos. Los resultados obtenidos en sus informes (sus modelos) muestran que se apropiaron de dicho concepto, al menos parcialmente. Lo logrado por los alumnos permite que, de seguir explotando y trabajando el concepto, se mejore sustancialmente. En pocas palabras, parece ser un buen inicio, y en él, se identificaron las áreas a mejorar con este grupo en particular.

Para terminar la presentación y análisis de resultados, es pertinente dar algunos detalles relacionados con la sesión de retroalimentación, dado que en páginas previas se demostró que fue una actividad que tuvo un gran impacto en el aprendizaje de los alumnos.

Esta actividad se realizó en la sesión 5, la cual se dividió en dos partes: en la primera (con 50 minutos de duración aproximadamente), los estudiantes resolvieron el cuestionario final en su primera aplicación; en la segunda parte (de alrededor de 45 minutos de duración) se hizo la discusión grupal de todas y cada una de las preguntas de dicho cuestionario.

La intención fue que mediante esta actividad, se pudieran detectar las necesidades de los estudiantes y atenderlas en consecuencia. Para ello, el profesor dio lectura en voz alta a las

preguntas tal como vienen en el documento y solicitó a los alumnos responderlas, de forma voluntaria, y pidiendo el turno para hablar. Es importante destacar que en todos los casos hubo alumnos interesados en participar. Afortunadamente, en este aspecto el grupo se mostró muy involucrado, lo cual dio origen a una discusión rica en ideas y aportaciones.

De forma general, la dinámica fue: escuchar la respuesta del primer voluntario, después solicitar un segundo participante, y a veces uno adicional.

- ❖ Si las respuestas eran semejantes y correctas, se procedía a preguntar al grupo si había alguna discrepancia, y en caso de haberla, se pedía decirlo y se cuestionaba al grupo lo que pensaba.
- ❖ En cambio, si las dos primeras respuestas eran distintas o había alguna incorrecta (o ambas), se cuestionaba al resto del grupo diciendo “¿qué piensan los demás?”, y se obtenían más propuestas, mismas que se sometían a discusión y aportaciones de todos para obtener un consenso.

Como se puede notar, el docente generó y dirigió la discusión. Los estudiantes fueron quienes dieron las respuestas correspondientes y al final de cada pregunta la intervención del profesor fue, a partir de los dichos de los alumnos, dar una versión de la respuesta que integrara los elementos que comentaron en un orden lógico y breve. Una vez que se decía en voz alta la “respuesta final”, se preguntaba al grupo si había alguna duda, conflicto o diferencia con la misma.

En la dinámica anterior habría sido complicado tener una duración preestablecida para cada pregunta, así que se procuró asignar más tiempo a los aspectos en los que se había detectado mayor dificultad a lo largo de la secuencia para puntualizarlos, esto es, desde el cuestionario de introducción, hasta la propia discusión que se efectuaba en ese momento.

Algunos ejemplos de distintos conceptos y sus incidencias son:

Identificación de las variables dependiente e independiente. En la discusión que aquí se detalla, se observó que la mayoría de alumnos identificaron correctamente dichas variables (esto se confirmó al revisar CF1; hubo 67% de éxito). Para atender a los que expresaron dificultad, se usaron más ejemplos para practicar esta identificación, no obstante, para CF2, el porcentaje de identificaciones correctas bajó a 43%, lo cual representa un descenso importante aun habiéndolo tratado en la retroalimentación. Es posible que exista una idea que indica que la asignación de las variables a los ejes es irrelevante, es decir, podría tratarse de una concepción alternativa.

En el cuestionario de introducción se detectó que era complicado identificar las relaciones “directamente proporcional” e “inversamente proporcional” entre dos variables dadas (especialmente la inversa, con 23% de identificaciones correctas). En cambio, para CF1 se alcanzó casi un 80% de efectividad, lo cual reflejó que no había gran dificultad, sin embargo, se comentó en la retroalimentación, y en CF2 se mantuvo ese porcentaje casi sin cambios. Esto implicaría que el beneficio de la discusión fue, posiblemente, evitar el olvido de estos conceptos, o bien, que algunos alumnos pudieron mejorar la comprensión, y unos cuantos lo olvidaron.

En cuanto a las características de los dibujos de un globo que contiene humo, al pedir la participación voluntaria, se encontró que la mayoría de alumnos proponían una representación del gas como un medio discontinuo y una visión macroscópica. Por tanto, se preguntó al grupo si alguien podía proponer una manera diferente para representar el contenido del globo, y así surgieron algunas propuestas con una apreciación microscópica y como un medio discontinuo. Fue entonces cuando el docente cuestionó *¿cuál de los dibujos es correcto?*, y esto dio origen a la discusión en la que los estudiantes concluyeron que ambos casos son válidos dependiendo de la perspectiva (macro o microscópica). Al parecer, esta parte de la discusión tuvo mucho impacto en los alumnos porque al comparar resultados de CF1 y CF2, hubo una mejora considerable.

Podría ser complicado intentar “medir el éxito” de la sesión de retroalimentación, no obstante, a lo largo del análisis de resultados se comentó que en las respuestas de la segunda aplicación del cuestionario final, se obtuvo una mejoría importante en la mayoría de las preguntas. Esto sugiere que esta estrategia tuvo un papel fundamental para ayudar a que los estudiantes logaran un mayor acercamiento a los objetivos de aprendizaje.

En el diseño de la secuencia se decidió dejar pasar dos semanas entre una y otra aplicación del cuestionario final, y la predicción que se hizo fue que habría una tendencia en los alumnos a olvidar distintos aspectos o detalles, sin embargo, llama la atención que en varias de las respuestas no solamente no las olvidaron sino que pudieron mejorarlas. Aunque por supuesto, es necesario subrayar que hubo algunos casos en los que sí se encontró un descenso, ya sea por olvido de algunas ideas o conceptos, o bien, por sencillez de las explicaciones, y estos detalles están comentados en el análisis de cada pregunta.

4. Conclusiones

Para dar inicio a esta sección, es necesario comentar que existió una primera versión de la secuencia didáctica, la cual fue aplicada en un ciclo escolar de la ENP. Con base en los resultados obtenidos se hicieron las modificaciones que se consideraron pertinentes para dar origen a la versión que se presenta en este trabajo, y que fue aplicada al año siguiente.

En este trabajo se pretendió responder una pregunta de investigación: *¿Es posible desarrollar la habilidad de crear de modelos, además de lograr aprendizaje del comportamiento de la materia en estado gaseoso, así como sus leyes, mediante una secuencia didáctica histórica?* Si bien luce como una pregunta cerrada, su respuesta ha de justificarse ampliamente, naturalmente, con los resultados de este proyecto.

Como pudo constatarse, en la secuencia didáctica propuesta se pretendió abandonar un enfoque de enseñanza tradicional porque en el marco dado por la ENP, en su nuevo plan de estudios, así lo demanda. Así, se tuvo como objetivos contextualizar el contenido mediante la historia de la ciencia, y desarrollar la habilidad para crear modelos, entendiendo que estos aspectos aportan, al menos en pequeña medida, a la alfabetización científica de los estudiantes, y para ello, las leyes de los gases fueron vistas como un medio y no como el fin último de la secuencia.

Con los instrumentos diseñados fue posible obtener una gran cantidad de información. Por ejemplo, en el diagnóstico hecho mediante el Cuestionario de Introducción, se observaron carencias en cuanto al concepto de “gas”, mismas que coinciden con las concepciones alternativas reportadas en la literatura. También se encontró que desde el principio los estudiantes reconocían algunas propiedades del estado gaseoso, lo cual implicó que parte de los conocimientos obtenidos hacia el final, fueran más bien una profundización, esto es, explicaciones más detalladas y no propiamente nuevos aprendizajes.

Por otro lado, de manera general, los logros conceptuales alcanzados durante la secuencia y al final de la misma, muestran un claro vínculo con las actividades desarrolladas, aunque como es de esperarse, se observaron distintos niveles de dominio por parte de los alumnos. No obstante, es necesario reconocer que los grandes cambios conceptuales constituyen un proceso a largo plazo, y pretender que sean homogéneos en el alumnado, resulta inviable mediante una única secuencia didáctica.

En este sentido ha de destacarse la obtención de modelos. Se puede considerar un logro que los estudiantes pudieron dar ecuaciones relacionadas con los fenómenos correspondientes,

aunque a la luz de los resultados, no es posible determinar con total claridad si fue por memorización del procedimiento matemático, o bien, por comprender el proceso, aunque es razonable suponer que ambos casos coexisten en el grupo. Lo anterior sugiere que la creación de modelos matemáticos es una actividad compleja que requiere trabajarse con otros contenidos y contextos.

Por otro lado, vale la pena destacar que las representaciones gráficas de los gases, individuales y en equipo, mostraron cambios bastante evidentes a lo largo del tiempo. En principio hubo muchos casos donde los alumnos no tuvieron el debido cuidado con los detalles, o bien, escasos conocimientos para dibujar adecuadamente. En cambio, en los cuestionarios finales (primera aplicación) se observó que hubo cierta mejora en las evidencias gráficas, en tanto que en la segunda aplicación, se dio una mejora sustancial. Es claro que esto está directamente relacionado con la sesión de retroalimentación, misma que transcurrió entre las dos aplicaciones de los cuestionarios. En dicha sesión se dio una discusión, estimulada y dirigida por el profesor, se cuestionó a los estudiantes acerca de las características de los dibujos, y de forma grupal se pudo obtener un par de representaciones adecuadas (macroscópica y microscópica) de acuerdo con el marco conceptual trabajado en la secuencia didáctica.

A propósito de la sesión de retroalimentación, debe reconocerse como una pieza clave de esta investigación. Su propósito fue el de la evaluación formativa mediante la discusión de las respuestas dadas a la primera aplicación del cuestionario final. El profesor guio la actividad promoviendo el diálogo con el grupo y entre sus integrantes. Así, fue una sesión bastante fluida con gran participación de los alumnos, y esto fue importante para ellos, para el docente, y para este proyecto, porque como señala Talanquer (2015), al mostrar apertura y disposición al diálogo, para interpretar constantemente y de forma cíclica el pensamiento de los estudiantes, se puede reflexionar con base en esa evidencia y actuar en consecuencia para alcanzar los objetivos de aprendizaje pretendidos.

No obstante el alcance que mostró la retroalimentación, ha de decirse que su impacto fue relevante *en la mayoría* de las respuestas de los estudiantes. Es por ello que ha de decirse que hubo algunas preguntas en las que el segundo cuestionario final mostró un retroceso en las respuestas correctas, y podría considerarse natural, puesto que entre ambas aplicaciones del cuestionario transcurrieron dos semanas, lo cual induce al olvido parcial de algunos conceptos, sin embargo, llama la atención una cuestión específica, la cual trata acerca del vacío. Ese gran descenso en respuestas correctas y los conceptos involucrados,

hacen sospechar que el fenómeno como tal implica gran dificultad en su comprensión por los alumnos, además de la posible reaparición de alguna concepción alternativa. Esto podría ser una evidencia de que para superar estas ideas diferentes de lo científicamente aceptado, se requiere un proceso largo.

Otro aspecto que debe mencionarse es el uso de la contextualización histórica. Se puede afirmar que los estudiantes tomaron un poco de consciencia acerca de que las leyes de los gases fueron producidas en épocas muy diferentes de la actual, y que ello implica que se tenían conocimientos y herramientas diferentes; esto fue dicho explícita o implícitamente en las conclusiones de sus informes y la discusión grupal correspondiente. Así, fue posible que los alumnos contrastaran sus ideas y sus modelos con las de los investigadores que se les asignó, y pudieron encontrar semejanzas y diferencias. Entonces puede decirse que esta secuencia didáctica los acercó, *al menos parcialmente*, al contexto social y científico que se pretendió. Es por ello que debe señalarse que el uso de la historia en este proyecto es un aspecto que se identificó como un área de oportunidad, es decir, hay que reconocer que hizo falta integrarlo de manera más amplia. Para ello podrían incluirse algunas preguntas en los cuestionarios finales, puesto que ahí es donde se percibe ausente y por tanto, no hay resultados que puedan demostrar su comprensión e impacto al terminar la secuencia.

También se puede concluir que en cuanto al diseño experimental, la intervención del profesor fue adecuada, es decir, no fue insuficiente ni excesiva. Ha de comentarse que en el primer ciclo escolar en que se probó la secuencia didáctica, esta actividad fue menos guiada por el docente y resultó muy compleja para los alumnos (hubo que usar una sesión adicional para poder concluirla). Fue así que se decidió disminuir el grado de apertura, y en consecuencia, aumentar el nivel de intervención del profesor. Por otro lado, también ha de advertirse que es fundamental tomar en cuenta la experiencia previa de los estudiantes en este tipo de dinámicas, y que siempre será mejor un acercamiento gradual a las actividades prácticas abiertas, las cuales, aunque requieren mayor tiempo y esfuerzo de todos los involucrados, permiten reinterpretar la ciencia, promueven la alfabetización científica y permiten construir conocimientos a través del desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo del estudiante (Espindola y Velloso, 2018).

5. Perspectivas a futuro

Una de las pretensiones que tuvo esta secuencia, fue trasladar el protagonismo del profesor a los estudiantes, esto es, que ellos tuvieran mayor involucramiento. Como consecuencia natural de esto, el tiempo invertido puede parecer demasiado. Es por ello que recomendar alargar alguno de los aspectos es poco viable, sin embargo, se tienen áreas de oportunidad bien identificadas, e incluso, algunas propuestas de mejora se han comentado más detalladamente a lo largo del análisis de resultados.

A continuación se propondrá un conjunto de modificaciones y consideraciones globales que, hipotéticamente, mejorarían la SD:

Robustecer la contextualización histórica. Al inicio de la secuencia hay actividades relacionadas con este aspecto, así como en los informes del trabajo práctico y en la discusión de estos, pero están ausentes en los cuestionarios finales. En ellos sería necesario agregar preguntas que estimulen la reflexión en torno a la historia de la ciencia para evaluar mejor el alcance y los logros de la propuesta de este trabajo.

Otra forma de contextualizar el contenido elegido (las leyes de los gases) es a través del tema que sigue en el programa oficial, esto es, “la contaminación atmosférica”. De ahí podrían tomarse aspectos para incluirlos en la secuencia, aunque no necesariamente con un enfoque histórico sino uno social, actual y global.

En el diseño experimental hay que tomar en cuenta la experiencia previa de los alumnos. Se incluyó este enfoque en la secuencia para tener una propuesta de enseñanza “no tradicional”, aunque no se contempló como un objetivo. Considerando que este aspecto presentó algunas dificultades, la recomendación es que previamente se realicen trabajos prácticos con pequeños grados de apertura. También puede sugerirse formar subgrupos, esto es, dividir al grupo en dos y guiarles en el diseño experimental.

En la crítica entre pares se vio que los estudiantes no hicieron un gran ejercicio de ella. Los comentarios hechos acerca de los informes, se centraron en cuestiones “de forma” y no “de fondo”. Por tanto, puede ser necesario especificar con mayor claridad lo que se les está requiriendo, e incluso, diseñar una rúbrica en conjunto con ellos, para que reconozcan el valor de los distintos aspectos que constituyen el informe.

Una observación importante es que a partir de los resultados obtenidos, puede ser recomendable, e incluso necesario, hacer modificaciones en algunas de las preguntas del cuestionario final. Estas propuestas se han presentado en el análisis que corresponde a

cada pregunta para que esta sección no resulte tan extensa. Además de ello, valdría la pena advertir a otros docentes que los enunciados que requerían ser identificados como verdadero o falso y dar una justificación, fueron el apartado que requirió una gran inversión de tiempo para su análisis (este dato podría ser útil para otras investigaciones).

En cuanto a la creación de modelos, la investigación arroja que hubo algunos resultados importantes y otros con altibajos; los estudiantes lograron, en cierta medida, representar fenómenos, explicarlos e interpretar algunos modelos. Sin embargo, hay que reconocer que una SD única no tiene el alcance para perfeccionar la habilidad. Es por ello que se sugiere continuar con este enfoque en otros contextos y contenidos del curso de Química III.

Otro aspecto a considerar es que la interpretación de los dibujos de los globos con humo hechos por los estudiantes en los cuestionarios finales (sección IV, pregunta 1), puede ser complicada para el profesor. Es así que si esta secuencia fuese parte de una investigación posterior, se recomendaría incluir una entrevista con estudiantes para conocer con mayor detalle sus representaciones. Por otro lado, vale la pena recordar que al dibujar, fue importante enriquecer la instrucción dada a los alumnos con el uso de los términos “macroscópicamente” o “microscópicamente”.

La mejora en los resultados obtenidos en la segunda aplicación del cuestionario final, puede explicarse a partir de la retroalimentación grupal que se realizó. Es así que, dada la importancia que tuvo esta actividad en esta investigación, puede ser bastante recomendable asignarle más tiempo del que se contempló, siempre que sea posible.

Finalmente, también debe tomarse en cuenta en este apartado un componente que es fundamental considerar y reconsiderar: las acciones del docente en el aula. Es vital reflexionar al respecto de forma permanente. Así, fue posible detectar que algunos de los aspectos que pueden mejorar son: ser más conciso, en algunos momentos ocurrieron divagaciones y ello puede impactar en los tiempos programados; delegar algunas de las responsabilidades a los estudiantes para fortalecer su autonomía y su protagonismo; compartir con los alumnos el reconocimiento que merecen por sus avances; considerar incluir alguna herramienta virtual; aunque de forma permanente el profesor hizo un esfuerzo por mostrarse con disposición a la interacción con los alumnos, una pequeña parte de estos no lo interpretaron así, en consecuencia se mantuvieron alejados (posiblemente se trate de un aspecto de personalidad de ambas partes, o bien, es un efecto de haber sido insistente con el cumplimiento de las actividades puesto que eran parte de las evidencias de esta investigación).

6. Referencias

Acevedo, J. *El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias*, en Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 5 (2), 2008. Pp: 134-169.

Acevedo, J. y col. *Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia en Educación Química*, 28. 2017. Pp: 140-146.

Adúriz, A. *Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química*. Educación química. Vol. 23. Supl. 2. Mayo, 2012. México.

Ahumada, P. “*La evaluación: un difícil camino entre la teoría y la práctica*”. Capítulo I de “*La evaluación en una concepción de aprendizaje significativo*”. Ediciones Universitarias de Valparaíso, 2001. Pp: 15-30.

Álvarez, G. y col. *Sistema Educativo Nacional de México*. Secretaría de Educación Pública y Organización de Estados Iberoamericanos. México, 1994.

Aragón, F. *Historia de la Química. De Lavoisier a Pauling*. Editorial Síntesis. España, 2004. Pp: 26-82.

Aragón, M. *La comprensión de los estudiantes sobre el papel de los modelos científicos en el aprendizaje de las ciencias*, reseña de *Students’ understanding of the role of scientific models in learning science* de Treagust, D. et. al. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 4(2), 2007. Pp: 364-366.

Asimov, I. *Breve historia de la química. Introducción a las ideas y conceptos de la química*. Alianza Editorial, España. 1975. Edición en español Pág: 91.

Brock, W. *Historia de la química*. Alianza Editorial, España. 1998. Edición en español. Pp: 61-88.

Brookhart, S. y Chen, F. “*The quality and effectiveness of descriptive rubrics*.” Educational Review. Vol. 67, núm. 3. 2015. Pp: 343-368.

Bruce, C. *Beyond the Syllabus: Using the first day of class in physical chemistry as an introduction to the development of macroscopic, molecular-level, and mathematical models*, en Journal of Chemical Education. Vol. 90. 2013. Pp: 1180-1185.

Caamaño, A. *Los trabajos prácticos en ciencias*, en Enseñar Ciencias, coordinado por María Pilar Jiménez Alexandre. Editorial Graó, Barcelona, España. 2003. Pp: 95-118.

Caldin, E. *The Structure of Chemistry. In Relation to the Philosophy of Science*. International Journal for Philosophy of Chemistry. Vol. 8. 2002. Pp: 103-121.

Campanario, J. – Moya, A (1999). *¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas en Enseñanza de las Ciencias*. 17 (2). Pp: 179-192. Universidad de Alcalá de Henares.

Castillejos, A. y col. *Conocimientos fundamentales de química*. 1era. Ed. Pearson Educación. 2007

Chamizo, J. y Garritz, A. *Consideración de la historia en los libros de texto de química*. Educación Química. Vol. 16, núm. 4 (editorial). 2005. Pp: 498-502.

Dedes, C. y Ravanis, K. *History of Science and Conceptual Change: The Formation of Shadows by Extended Light Sources*. Science and Education. Vol. 18, núm. 9. 2009. Pp: 1135-1151.

Dirección General de la Escuela Nacional Preparatoria (DGENP). Página electrónica: <http://dgenp.unam.mx/acercaenp/index.html> (recuperado el 20 de septiembre de 2019)

Dirección General de la Escuela Nacional Preparatoria. *Avances del proyecto de modificación curricular*. 2012. Disponible en: <http://proyctomc.dgenp.unam.mx/proyecto-de-modificacion> (recuperado en octubre de 2019).

Dirección General de la Escuela Nacional Preparatoria. *Programa Analítico de Química III* (versión extensa). Disponible en la siguiente liga: <http://dgenp.unam.mx/planesdeestudio/quinto-2017.html> (recuperado en octubre de 2019).

Driver, R. y Scott, P. *Curriculum development as research: a constructivist approach to science curriculum development and teaching*, en *Improving teaching and learning in science and Mathematics*. 1996. Pp: 94–108.

Dykstra, D. *Studying conceptual change in learning physics*. Science Education. Vol. 76, núm. 6. 1992. Pp: 615-652.

Espindola, C. y Velloso A. *The scientists and their contribution to science education in Rio de Janeiro countryside schools*. *Cypriot Journal of Educational Sciences*. Vol. 13, núm. 2. 2018. Pp: 363-374.

Flores Calvo, T. *Estudio sobre egresados de la Escuela Nacional Preparatoria en el primer semestre en la Facultad de Química, UNAM*. Tesis de Maestría en Enseñanza Superior. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. 1998.

Garritz, A. *Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano*, en *Revista Iberoamericana de Educación*. No. 042. España, 2006. Pp: 127-152.

Garritz, A. *La historia como una herramienta para promover el aprendizaje*. *Educación Química*. Vol. 21, núm. 4. 2010. Pp: 266-269.

Gay-Lussac, J. “*Annales de Chimie. The Expansión of Gases by Heat. On the expansión of gases and vapors, read at the National Institute on 11 pluviôse, year 10, by citizen Gay-Lussac*” (traducción al inglés del documento original publicado en 1802). Obtenido de <http://web.lemoyne.edu/~giunta/gaygas.html> Recuperado el 2 de octubre de 2019.

Genç, M. *The effect of scientific studies on students’scientific literacy and attitude*. *Ondokuz Mayıs University Journal of Faculty of Education*. Vol. 34, núm. 1. 2015. Pp: 141-152.

Grace, B. *Paving the way for scientific literacy*. Sección 1.2 del libro *Scientific Literacy Under the Microscope*. *Professional Learning*, Vol. 11. Monash University, Australia. 2011. Pp: 17-24.

Guevara, M. y Valdez, R. *Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje* en *Revista Educación Química*, 15 (3). 2004. Pp: 243-247.

Gutiérrez, E. *La química en tus manos*. UNAM, 2015. Pp: 53-66.

Halloun, I. *Modeling Program*, Capítulo IV del libro *Modeling theory in science education*. Springer, Estados Unidos, 2004. Pp: 135-183.

Hernández-Millán, G. y col. *¿Cómo diversificar los trabajos prácticos? Un experimento ilustrativo y un ejercicio práctico como ejemplo*, en *Revista Educación Química*, 23 (no. extraordinario 1), 2012. Pp: 101-111.

Hernández, N. *Los estudios de bachillerato en México, una propuesta positivista*, en Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales. Abril de 2012. Universidad de Málaga. Liga: <http://www.eumed.net/rev/cccss/20/nhc.html> (recuperado en octubre de 2019).

Hodson, D. *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio*, en Enseñanza de las ciencias. 12(3). 1994. Pp: 299-313.

Holbrook, J. y Rannikmae, M. *The Meaning of Scientific Literacy*. International Journal of Environmental and Science Education. Vol. 4, núm. 3. Julio, 2009. Pp: 275-288.

Justi, R. y Gilbert, J. *Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers*, en International Journal of Science Education, vol. 24, no. 4. 2002. Pp: 369-387.

Justi, R. *La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos*, en Enseñanza de las ciencias, 24 (2). 2006. Pp: 173-184.

Justi, R. *Contribucions de la investigació didàctica a l'ensenyament de la química basat en la modelització*. Educació Química EduQ. Núm. 8. 2011a. Pp: 11-22.

Justi, R. *Las concepciones de "modelo" de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de las ciencias. Una relación compleja y central en la enseñanza de las ciencias*. En Didáctica de la física y química (Caamaño, coordinador). Edit. Graó. Barcelona, 2011b. Pp: 85-98.

Ladenburg, A. *Lectures on the history of the development of chemistry since the time of Lavoisier*. Alembic Club. Edinburgh, 1900. Pp: 618-619.

Leboutet, L. *Concepts of mechanics in young people*, Physics Education. Vol. 11. 1976. Pp: 462-466.

Lederman, N. y col. *Views of Nature of Science questionnaire: towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science*, en Journal of Research in Science Teaching, 39(6). 2002. Pp: 497-521.

Legaspi, J. y col., *Una mirada interpretativa de los sentidos de la formación de estudiantes del bachillerato universitario*. Congreso Nacional de Investigación Educativa – COMIE. San Luis Potosí, México. 2017.

López, I. *Origen de la distinción ética – moral en la enseñanza de la filosofía en México*, en Revista Digital Universitaria (ética). Vol. 6. No. 3. Marzo de 2005.

Macedoi, B. *Educación científica en CILAC*, foro abierto de ciencias Latinoamérica y Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Uruguay, 2016. Pp: 5-17.

Martínez, J. y col. *La búsqueda de la unidad (la estructura de todas las cosas)*. Ciencias de la naturaleza. Libro del profesor. Ed. Aguaclara. 1993. Pp: 89-118.

Martínez, M. *Filatelia y Didáctica de la Química: un ejemplo con los Gases Ideales*. Revista Cubana de Química. Vol. 28, no. 3, septiembre-diciembre de 2016. Pp:843-869.

Mehmet, A. *Argumentation and students' conceptual understanding of properties and behaviors of gases*. International Journal of Science and Mathematics Education. Vol. 10. 2012. Pp: 1303-1324.

Miralles, L. *Compleja historia de la formulación de la ley de Boyle*. Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. No. 17, 2003. Pp: 37-53.

Moreno, L. y Calvo, M. *¿Cómo presentan la historia de la química los libros de texto de Educación Secundaria? Un análisis desde la didáctica y los estudios históricos de la ciencia*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. Vol. 16, núm. 1. 2019. Pp: 1101-1, 1101-16.

National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington,DC: National Academic Press.

Neyra, A. *El bachillerato mexicano y la política educativa: desde sus inicios hasta la educación basada en competencias*, en Textual. Análisis del medio rural latinoamericano. Junio de 2010. Universidad Autónoma de Chapingo.

Niaz, M. *Filosofía de la química o historia y filosofía de la ciencia como guía para comprender el desarrollo de la química*. Educación Química. Vol. 23, núm. 2 (extraordinario). 2012. Pp: 1-4.

Niaz, M. *Chemistry Education and Contributions from History and Philosophy of Science* (Capítulo 1). Springer, 2016. Pp: 1-13.

Nurrenbern, S. *Concept learning versus problema solving: is there a difference?* Journal of Chemical Education. Vol. 64, no 6. Jun 1987.

Osborne, J. y col. *What "Ideas-about Science" Should Be Taught in School Science*, en Journal of Research in Science Teaching. No. 4, 7. 2003. Pp: 692-720.

Padilla, K. *La indagación y resolución de problemas, un área emergente en la educación química*. Editorial de la Revista Educación Química, 23 (4). 2012. Pp: 412-414.

Partington, J. *A history of chemistry*. Vol. II y III. Macmillan and Co. 1961. Pp: Vol II, 209-238, 486-524; Vol III, 755-772.

Peterfalvi, B. *Identificación de los obstáculos por parte de los alumnos*, en *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Barcelona, Ed. Geodisa, 2001. Pp: 127-168.

Portal de Estadística Universitaria, sección de "Numeralia". Página electrónica: <http://www.estadistica.unam.mx/numeralia/> (recuperado el 20 de septiembre de 2019).

Priede, D. y Krumina, A. *A conceptual approach to learning chemistry in professional secondary school in Latvia*. US-China Education Review. B1. Pp: 31-30. 2012.

Ramos, A. *¿Cómo producir una experiencia profunda y transformadora en un curso experimental de fisicoquímica?*. Educación Química. Vol. 29, núm. 2. 2018. Pp: 62-73.

Raviolo, A. y col. *Enseñanza y aprendizaje del concepto de modelo científico a través de analogías*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. Vol. 7, núm. 3. 2010. Pp: 581-612.

Razo, A. *La Reforma Integral de la Educación Media Superior en el aula: política, evidencia y propuestas*. Perfiles educativos, vol. 40, núm. 159. México, 2018.

Sánchez, G. y Valcárcel, M. *Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales*. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*. Vol. 11, núm. 1. 1993. Pp: 33-44.

Sands, M. y Hull, R. *Teaching Science: a teaching skills workbook*. Basingstoke, Hampshire, 1985. Macmillan Education.

Sanmartí, N. *El diseño de unidades didácticas*, capítulo 10 de *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Ed. Marfil, 2000. Colección Ciencias de la Educación.

Sanmartí, N. *Capítulo 11: Las actividades de evaluación*, en *Didáctica de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Editorial Síntesis, Madrid. 2002. Pp: 295-329.

Sanmartí, N. y Alimenti, G. “*La evaluación refleja el modelo didáctico: análisis de actividades de evaluación planteadas en clases de química.*” *Educación Química*. Vol. 15, núm. 2. Abril de 2004. Pp: 120-128.

Sasseron, L. *Scientific literacy, teaching by research and argumentation: relations between natural sciences and school*. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. Vol. 17. 2015. Pp: 49-67.

Sellés, M. *La ley de Amontons y las indagaciones sobre el aire en la Academia de Ciencias de París (1699-1710)*. *Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*. Vol. 47. No. 1. 1995. Pp: 53-80.

Séré, M. *A study of some frameworks of the field of mechanics, used by children (age 11 to 13) when they interpret experiments about air pressure*. *European Journal of Science Education*. Vol. 4. 1982. Pp: 299-309.

Sharma, R. y Sharma, L. *Scientific literacy education: Reflections from Fiji*. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. Vol. 18, núm. 2. Diciembre, 2017. Liga: https://www.eduhk.hk/apfslt/v18_issue2/sharma/index.htm (recuperado en septiembre de 2019).

Siegel, M. y col. “*Beyond grading. A series of rubrics for science learning in high school biology courses.*” *The Science Teacher*. Vol. 78, núm. 1. Enero de 2011. Pp: 28-33.

Talanquer, V. *Educación química: escuchando la voz de la historia y la filosofía*, en *Química: Historia, Filosofía y Educación*. 1era. Edición. Universidad Pedagógica Nacional. Colombia, 2011. Pp: 55-63.

Talanquer, V. *La importancia de la evaluación formativa*. *Educación Química*. Vol. 26. 2015. Pp: 177-179.

UNAM. *Programa Integral del Fortalecimiento del Bachillerato*. Documento en línea en la Secretaría de Desarrollo Institucional (SDEI). 2009. Consultado en mayo de 2018. www.sdei.unam.mx/img/lecturas/Folleto_bachillerato_2009.doc

Velázquez, L. *Aportaciones de la sociología para el estudio del bachillerato de la UNAM*. En XI Conferencia de Sociología de la Educación. Grupo de trabajo perspectivas teórico – metodológicas, 2006.

Yalçinkaya, E. *The effect of case-based instruction on 10th grade students' understanding of gas concepts*. Chem. Educ. Res. Pract. 16. 2014. Pp: 104-120.

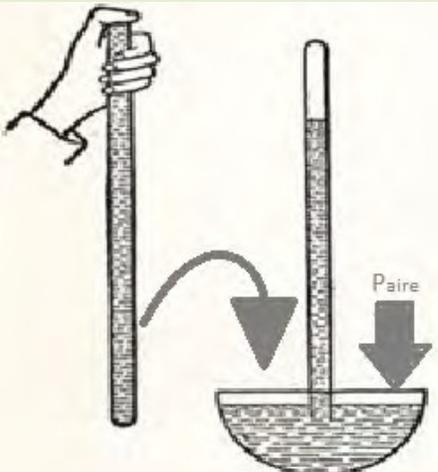
7. Anexos

Anexo A. Lectura histórica

¿Se puede trabajar con algo que es invisible?

Muchas personas relacionan a los gases con las burbujas de los refrescos, con el olor de una coladera, el humo o los globos. Los gases a veces son incoloros o invisibles para nuestros ojos. Además, no se pueden tocar y en recipientes abiertos “se escapan”. Hoy en día podría ser difícil imaginar cómo se estudió un material con estas características. Aún con estas dificultades, ¿te has puesto a pensar cómo fue que se descubrió y se trabajó antiguamente con algo que es tan complicado de manejar como los gases?

Antes de responder cualquier pregunta, hagamos una revisión en orden cronológico de algunos eventos que tenemos que tomar en cuenta:

¡El caos!	La presión del aire
Joan Baptista van Helmont (1577-1644) observó que al calentar carbón se desprendía algo que describió como “ <i>un espíritu que no se puede retener en un recipiente, ni obtener de él un cuerpo visible</i> ”, y le dio el nombre de “gas”. Nombre que proviene de la palabra griega “ <i>chaos</i> ”, misma que se eligió porque ese <i>espíritu</i> o gas carece de forma.	<p>En 1643, Evangelista Torricelli (1608 - 1647) llenó un tubo de vidrio con mercurio (metal líquido), y lo sumergió de cabeza en una bandeja con el mismo material. El resultado fue que el mercurio descendía sólo un poco. Torricelli dedujo que era debido a que <i>el aire de los alrededores ejerce presión</i> sobre el mercurio de la bandeja, y esto a su vez, impide que el tubo se vacíe totalmente.</p>  <p>Experimento con el que Torricelli demuestra que el aire ejerce presión.</p>

ACTIVIDAD 1: En la época de Torricelli no se sabía sobre la alta toxicidad del mercurio, por ello, actualmente su uso está restringido. Sin embargo, puede pensarse en algún otro líquido para “empujar al aire”. Si usamos agua como una herramienta, ¿cómo podríamos **diseñar un instrumento** que permita medir la presión de distintos volúmenes de aire? Discute con tus compañeros y profesor la elaboración de este instrumento.

La investigación de Robert Boyle

Robert Boyle (1627 – 1691) suponía que los gases estaban formados por “corpúsculos” (cuerpos pequeños) y pensaba que debían tener alguna relación con la contracción y la expansión de los mismos. Además, Torricelli había demostrado que el aire podía ejercer presión. Fue así que decidió investigar (aproximadamente en 1660), junto con su ayudante Robert Hooke (1635 – 1703), **“la compresión y dilatación de una cantidad fija de aire”**.

La **conclusión** a la que llegaron en aquella investigación fue que, *para la cantidad constante de aire que tenían, al aumentarle la presión (P), disminuía el volumen (V) de ese gas de forma proporcional*, es decir, que **P y V presentan una relación inversamente proporcional**. Su propuesta también decía que lo que ellos observaron *se puede explicar asumiendo que el aire está constituido por esferas diminutas y que éstas se mueven*. Así, el trabajo de Boyle aportó evidencias que fortalecieron la teoría que sostenía que la materia está formada por átomos.

Unos años más adelante, el francés Edme Mariotte (1620 - 1684) descubrió que la temperatura es un factor que afecta a los gases y criticó el trabajo de Boyle diciendo que debería haberlo contemplado en su estudio. Mariotte afirmaba que la conclusión de Boyle era válida sólo si **se mantenía la temperatura constante**.

ACTIVIDAD 2: A partir de la conclusión obtenida por Robert Boyle, **escribe una ecuación matemática** que represente dicha conclusión, incluyendo la consideración de Mariotte. Explica las razones que te llevaron a ella. Compara tu ecuación y tus razonamientos con el resto de tu equipo y lleguen a un consenso.

A propósito de mediciones de temperatura, fue aproximadamente en 1740 que Anders Celsius (1701 – 1744) propuso la escala que lleva su apellido. Ésta se volvió muy popular en muchos lugares (como los laboratorios) aunque no necesariamente fuera la más adecuada para algunas investigaciones científicas.

La investigación de Jacques Charles

En 1787, el francés Jacques Charles (1746-1823) estudió **la relación que hay entre la temperatura (T) y el volumen (V) del aire a presión constante**. Es importante aclarar que esta investigación suele atribuirse a Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850). Lo que ocurrió en realidad es que Charles hizo el trabajo pero no lo dio a conocer, y Gay-Lussac lo hizo

después por su propia cuenta pero decidió reconocer públicamente que Charles ya lo había investigado antes. Para no caer en confusión, hablaremos de que esta actividad fue realizada por Jacques Charles.

La **conclusión** a la que llegó Charles fue que *para una cantidad determinada de aire, al subirle la temperatura, su volumen también aumentaba*. En otras palabras, ocurre que **la temperatura y el volumen presentan una relación directamente proporcional**. Todo esto trabajado con una presión constante.

ACTIVIDAD 3: A partir de la conclusión obtenida por Jacques Charles, **escribe una ecuación matemática** que represente dicha conclusión. Explica las razones que te llevaron a ella. Compara tu ecuación y tus razonamientos con el resto de tu equipo y lleguen a un consenso.

La investigación de Gay-Lussac

Además de lo anterior, Joseph Louis Gay-Lussac (1778 – 1850) fue participe de otras investigaciones. De hecho este científico es más conocido por el intercambio de críticas que tuvo con John Dalton (1766 – 1844) cuando éste se encontraba trabajando en su modelo atómico, el cual seguramente recordarás de alguna de tus clases de química.

Tal vez la segunda aportación que más se le reconoce a Gay-Lussac es su trabajo acerca de **la relación que presentan la temperatura (T) y la presión (P) de un gas manteniendo el volumen constante**. Es decir, investigó acerca de qué pasa con la presión del aire al alterar su temperatura en un recipiente que garantice que el volumen no cambie. Esta investigación la realizó justo en la misma época en la que Dalton terminaba su modelo atómico y empezaba a dar a conocer los resultados de su trabajo.

La **conclusión** a la que llegó fue que para un volumen constante de aire, **la temperatura y la presión presentan una relación directamente proporcional**.

ACTIVIDAD 4: A partir de la conclusión obtenida por Gay-Lussac, **escribe una ecuación matemática** que represente dicha conclusión. Explica las razones que te llevaron a ella. Compara tu ecuación y tus razonamientos con el resto de tu equipo y lleguen a un consenso.

Previo a esta lectura hiciste otra relacionada con los modelos científicos. En ella se menciona, entre otros puntos, que los modelos cambian con el tiempo y con nuevas investigaciones. Boyle, Charles y Gay-Lussac hicieron investigaciones que permitieron crear modelos matemáticos que describen el comportamiento de los gases.

Considerando que fueron hechos hace muchos años, ¿crees que sus ideas pueden seguir considerándose correctas?, ¿por qué?

Anexo B. Lectura de modelaje

Los modelos científicos: ¿qué son, cómo se hacen y para qué sirven?

Piensa en un globo terráqueo, en un esquema del aparato digestivo, en un esqueleto humano de plástico de “tamaño real” y en un electrocardiograma. ¿Alguna vez te has preguntado cómo se pueden diseñar y elaborar?, ¿para qué se utilizan? Todos ellos tienen algo en común: son representaciones de una porción del mundo; y existen muchísimos más ejemplos de ellos.

ACTIVIDAD 1: Piensa por un momento de forma individual *qué necesitarías para elaborar una de estas representaciones*, por ejemplo, en el caso del globo terráqueo. Comenta con tus compañeros de equipo los elementos que cada uno pensó y creyó necesarios, ¿sus propuestas son diferentes o parecidas? Discutan entre ustedes para llegar a un acuerdo y elaboren una lista de estos elementos para comentarla con el profesor y el resto del grupo.

1. ¿Cómo llamarías al proceso de elaboración de representaciones?, ¿por qué?
2. ¿Qué consideraciones se deben tener para construir un modelo?, ¿por qué?

En ciencias, se utilizan modelos para explicar los diversos fenómenos que se quieren estudiar. Los modelos científicos son creados por los investigadores, pero también por los estudiantes de la química, física, biología, etcétera. Un modelo es algo que *se parece a un fenómeno* u objeto de estudio, puede decirse que es una *representación* de éstos y nunca es idéntico a aquello que representa. Por ejemplo, un dibujo del esqueleto humano, éste no es lo mismo que un conjunto óseo real.

De manera general, *los modelos surgen de aplicar los conocimientos que se tienen acerca de algo y se parecen, en mayor o menor medida, al fenómeno u objeto de estudio que representan.* Y, como puedes notar, en esta actividad, *¡la información es poder!*

Por otro lado, entre la diversidad de modelos que existen, tenemos un ejemplo muy particular. Lee con atención el siguiente caso:

Imagina que vas a ir de viaje a Madrid, España, en un vuelo directo. En tu boleto de avión se indica que *el vuelo tendrá una duración de 10 horas con 3 minutos*. Entonces te surge la duda: ¿cómo se puede calcular con tanta exactitud la hora de salida y llegada si el vuelo es tan largo y puede ocurrir un sinnúmero de eventos que alteren los horarios?, ¿verdaderamente son tan exactos los despegues y aterrizajes? Para resolver esta cuestión se te ocurre preguntarle a un conocido que es piloto de un helicóptero de la policía.

El piloto te dice que *hay muchos factores que se toman en cuenta, por ejemplo, el clima y la época del año (vacacional o no), también si es un aeropuerto grande, pequeño o concurrido. En cuanto a los horarios de un vuelo, se pueden calcular más o menos fácilmente. Hay que tomar en cuenta la distancia que hay entre las ciudades (en tu viaje a Madrid son 9 000 km). También se considera el modelo del avión, porque de éste depende la rapidez que puede alcanzar. Las aerolíneas hacen pruebas de vuelo cuando compran un avión y obtienen datos como los que aparecen en la siguiente tabla:*

Tiempo transcurrido (horas)	Distancia (kilómetros)
1	900
2	1800
3	2700
4	3600
5	4500

A partir de estos datos, se puede obtener una gráfica y con ésta, se estima el tiempo que durará tu vuelo o cualquier otro con cierta exactitud, aunque sea más largo o más corto. Así, si tu boleto indica que tardarás 10 horas volando, ten la seguridad de que va a ser casi exactamente esa duración. ¡Lleva contigo un libro y buen viaje!

ACTIVIDAD 2: Junto con tus compañeros de equipo, obtengan una ecuación que les permita averiguar si el vuelo que se describió, realmente aterrizará en el tiempo indicado. Con esa ecuación, determinen el tiempo que tardará el mismo avión para un viaje de Madrid a Roma, Italia, considerando que la distancia es de 1360 km.

1. ¿Qué tomaron en cuenta para obtener la ecuación?
2. ¿Cuál fue su variable dependiente y cuál la independiente?, ¿por qué?
3. ¿Qué valor numérico utilizaron para relacionar las variables “tiempo” y “distancia”?, ¿cómo lo obtuvieron?, ¿por qué creen que es importante?
4. ¿Creen que su ecuación es un modelo?, ¿por qué?
5. Comenten sus respuestas con el resto del grupo y analicen si todos llegaron a la misma ecuación o no y por qué.

Existen diferentes tipos de modelos. Algunos son denominados “modelos materiales”, como el que trabajamos en la actividad 1; otros son los “modelos matemáticos”, precisamente como el de la actividad 2. Cuando se elaboran, elegir el tipo de modelo que uno quiere

depende de varios factores, por ejemplo, las características del propio objeto o fenómeno, la información disponible, la posibilidad de experimentar, etcétera.

Y a propósito de su elaboración, ¿sólo los científicos profesionales y los expertos en un área pueden crear modelos? No, de hecho también los aprendices de la ciencia, es decir, los estudiantes de todos los niveles. Cuando dibujas una célula, o representas un objeto con plastilina, expresas una idea con palabras, u obtienes una gráfica y su correspondiente ecuación, *¡ya estás modelando!*

Modelar puede ser sencillo o no, todo dependerá del fenómeno u objeto que se esté investigando, y de la información que se tenga al alcance. Esto es relevante porque muchas veces, en ciencias, se modela sin conocer con certeza las características de aquello que se está modelando. Especialmente en la química, es común que se trabaje únicamente a partir de la información macroscópica que se tiene. Y más adelante, el modelo se puede ir mejorando y ajustando para poder predecir más propiedades. El ejemplo que conoces en este momento es el caso del átomo.

Anexo C. Cuestionario de Introducción
Cuestionario de introducción al tema Leyes de los gases

Nombre: _____ **Grupo:** _____

I. Instrucciones: la siguiente tabla tiene algunos enunciados del lado izquierdo. Léelos, y en la casilla que aparece a la derecha escribe si se trata de una idea verdadera (V) o falsa (F), también deberás justificar tu elección con una explicación (es importante que trates de no dejar respuestas en blanco):

Enunciados	Verdadero o falso + justificación
1. Los gases carecen de masa.	
2. Los gases están constituidos por partículas muy pequeñas (átomos o moléculas) y hay grandes espacios vacíos entre ellas.	
3. Las partículas de los gases no se mueven, ni chocan entre sí mismas o con las paredes del recipiente que las contiene, es decir, son estáticas.	
4. Los gases presentan un volumen indefinido.	
5. La temperatura de un gas no afecta su volumen y su presión.	

II. Instrucciones: la siguiente tabla es un informe personal que servirá para que el profesor tenga una idea aproximada de qué tanto *crees que sabes* acerca de distintos conceptos. Para contestarlo debes leer el enunciado de la izquierda y marcar sólo una de las casillas de la derecha. Deberás señalar con una cruz la que más se ajuste a tu situación:

	<i>Creo que no conozco el concepto</i>	<i>Creo que lo conozco parcialmente</i>	<i>Creo que lo conozco bien</i>	<i>Creo que lo conozco lo suficientemente bien como para explicárselo a alguien más.</i>
Cómo se comportan los gases “macroscópicamente” (a simple vista).				
Cómo se comportan los gases a nivel “submicroscópico” (cómo lo hacen sus moléculas, que son invisibles a nuestros ojos).				
Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su temperatura.				
Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su presión.				
Sé convertir mediciones de temperatura en grados Celsius (°C) a la escala de Kelvin (K).				

III. Instrucciones: a continuación, se te presentan algunos casos con preguntas específicas. Respóndelas y justifica tus respuestas con la mayor claridad posible. Puedes usar dibujos para apoyarte. Es importante que trates de no dejar respuestas en blanco.

- Para responder esta pregunta supón que tienes un globo común de la forma que se te pueda ocurrir, por ejemplo, el más común que es como una pera:
 - Imagina que se infla este objeto con aire, lo cerramos con un nudo y lo ponemos sobre la mesa. Explica ¿por qué crees que se mantiene inflado todo el tiempo?
 - Ahora supón que desamarramos el nudo y ponemos más aire en el globo hasta que revienta, ¿por qué crees que termina rompiéndose?
- Supón que tenemos un globo que fue inflado con humo de cigarrillo.
 - Dibuja al globo y su contenido. Puedes usar el reverso de esta hoja para que no tengas problemas de espacio.
 - ¿Qué crees que ocurra si colocamos el globo en el centro del salón y lo reventamos?, ¿qué puedes decir acerca del olor?
- Lee con atención la siguiente situación: Paz Bermejo adoptó un par de perros abandonados y los resguardó en un terreno junto a su casa. Así fue como decidió

volverse voluntaria y abrir un albergue, el cual mantendría con sus ahorros. Un día su amigo José María le advirtió lo siguiente:

- ❖ *“El espacio que tienes es directamente proporcional a la cantidad de animales que podrías recibir”*
- ❖ *“El número de perros salvados y tu dinero en el banco tendrían una relación inversamente proporcional”*

¿Qué quiso decirle “Chema” con estas advertencias?

IV. Durante esta sesión se te proyectará un video. Con el objetivo de que no pierdas detalles, responde lo siguiente inmediatamente después de que lo veas:

- a) Describe cuidadosamente lo que observaste
- b) Explica ¿qué crees que ocurrió?

Comentario para el profesor: la liga para el video es la siguiente:

<https://www.youtube.com/watch?v=Hw2p1BilH68>

Anexo D. Cuestionario Final

Nombre: _____ Equipo: _____ Grupo: _____

Cuestionario final del tema Leyes de los gases

I. Instrucciones: contesta las siguientes preguntas de opción múltiple. La primera tiene sólo una respuesta correcta; la segunda, tal vez tiene más de una.

1. ¿Cuál de los siguientes enunciados se parece más a la idea que tú tienes acerca del concepto de “modelo”?

- a) Son copias exactas de un fenómeno u objeto del mundo real. Los pueden crear solamente los científicos más sobresalientes en sus laboratorios.
- b) Son copias exactas de un fenómeno u objeto del mundo real. Los pueden crear tanto los científicos profesionales como los estudiantes de ciencia.
- c) Son representaciones que tienen cierto parecido a un fenómeno u objeto del mundo real, pero no son idénticos. Son creados por los científicos profesionales y también por los estudiantes de ciencia.
- d) Son representaciones que tienen cierto parecido a un fenómeno u objeto del mundo real, pero no son idénticos. Los crean sólo los estudiantes de ciencia para cumplir un requisito de sus trabajos escolares.

2. De las siguientes opciones, ¿cuál o cuáles piensas que corresponden con ejemplos de modelos?

- a) La ecuación que relaciona las variables “precio” y “proporción de oro” en la fabricación de joyas
- b) La invención de una *Tablet* que muestra imágenes en 3D
- c) El descubrimiento de un nuevo planeta en el sistema solar
- d) Unos planos en los que se representa la Ciudad Universitaria de la UNAM

II. Instrucciones: la siguiente tabla tiene algunos enunciados del lado izquierdo. Léelos, y en el espacio de la derecha escribe si se trata de una idea verdadera (V) o falsa (F), también deberás justificar tu elección (es importante que no dejes respuestas en blanco):

Enunciados	Verdadero o falso + justificación
1. Los gases carecen de masa.	
2. Los gases están constituidos por partículas muy pequeñas (átomos o moléculas) y hay grandes espacios vacíos entre ellas.	
3. Las partículas de los gases no se mueven, ni chocan entre sí mismas o con las paredes del recipiente que las contiene, es decir, son estáticas.	
4. Los gases presentan un volumen indefinido.	
5. La temperatura de un gas no afecta su volumen y su presión.	

III. Instrucciones: la siguiente tabla es un informe personal que servirá para que el profesor tenga una idea aproximada de qué tanto *crees que sabes* acerca de distintos conceptos. Para contestarlo debes leer el enunciado de la izquierda y marcar sólo una de las casillas de la derecha. Deberás señalar con una cruz la que más se ajuste a tu situación:

	<i>Creo que no conozco el concepto</i>	<i>Creo que lo conozco parcialmente</i>	<i>Creo que lo conozco bien</i>	<i>Creo que lo conozco lo suficientemente bien como para explicárselo a alguien más.</i>
Cómo se comportan los gases “macroscópicamente” (a simple vista).				
Cómo se comportan los gases a nivel “submicroscópico” (cómo lo hacen sus moléculas, que son invisibles a nuestros ojos).				
Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su temperatura.				
Conozco lo que le pasa a un gas si se le modifica su presión.				
Sé convertir mediciones de temperatura en grados Celsius (°C) a la escala de Kelvin (K).				

IV. Instrucciones: A continuación se te presentan algunas preguntas específicas. Respóndelas y justifica tus respuestas con la mayor claridad posible. Puedes usar dibujos para apoyarte u operaciones si lo consideras necesario en algún caso.

1. Supón que tenemos un globo que fue inflado con humo de cigarrillo.

- Dibuja al globo y su contenido. Puedes usar una hoja completa en forma horizontal para que no tengas problemas de espacio.
- ¿Qué crees que ocurra si colocamos el globo en el centro del salón y lo reventamos?, ¿cómo puedes explicar que el olor se percibe por todo el lugar?

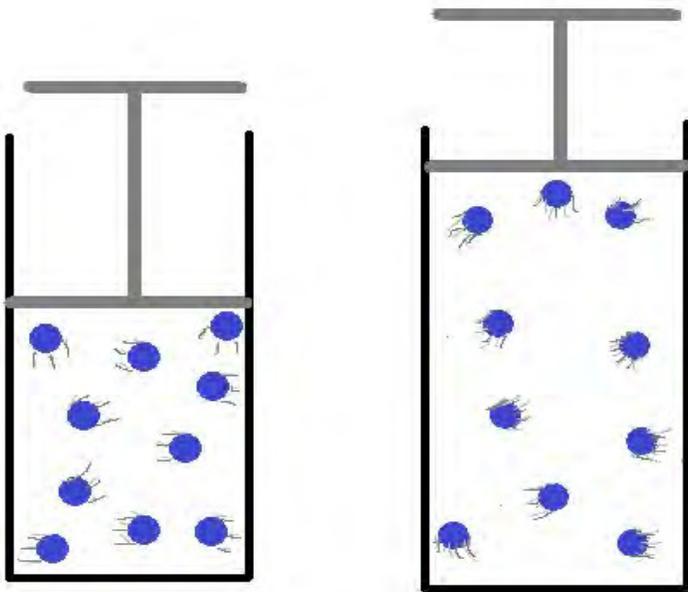
2. Un productor de globos explosivos necesita gas hidrógeno para fabricarlos. Fue a dos tiendas diferentes y se encontró con que:

- ❖ La compañía de “la ratita” ofrece un tanque de 1 L de hidrógeno que cuesta \$8
- ❖ La compañía del “gato ninja” le puede dar un tanque de 1 L de hidrógeno por \$16



Después de varios tanques, empezó a sospechar que comprar en la tienda del *gato ninja* le conviene más porque se dio cuenta de que cuando compra con *el gato*, puede llenar más globos que cuando compra con *la ratita*. **¿Cómo podrías explicar que el tanque más caro es más conveniente para el globero?** Usa tus conocimientos acerca de los gases para responder.

3. A uno de los equipos de trabajo de tu salón, se le olvidó poner el título a su informe. Suponiendo que el modelo que presentaron es el dibujo que aparece en esta pregunta, ¿cuál crees que haya sido la relación que ellos estudiaron? **Justifica tu elección.**



- a) Ellos trabajaron la relación entre la presión y el volumen
- b) Les tocó encontrar qué ocurre con el volumen de un gas al modificar la temperatura
- c) Determinaron cómo se comporta la presión y la temperatura
- d) Creo que observando solamente el dibujo no puedo saber qué relación estudiaron

4. Imagina que faltaste a clase el día en que se hizo la práctica de esta actividad. El día en que apareciste en el laboratorio tus compañeros ya habían obtenido los resultados del experimento de la relación entre presión y volumen, pero sólo las mediciones de presión estaban bien calculadas e identificadas. De la siguiente tabla, alguna de las columnas a, b, c o d tiene las mediciones de volumen en mililitros pero no saben cuál es la correcta.

Presión (atm)	<i>a)</i>	<i>b)</i>	<i>c)</i>	<i>d)</i>
0.05	4.5	3	3.5	9
0.10	4.5	4.5	6	7.5
0.15	4.5	6	4	6
0.20	4.5	7.5	6.5	4.5
0.25	4.5	9	5	3

¿Cuál de las columnas a, b, c o d, representa mejor el comportamiento del volumen a partir de las mediciones de presión indicadas en la columna de la izquierda? Justifica tu respuesta.

5. En una fábrica de latas de aire comprimido se suele verificar el buen funcionamiento de la maquinaria. Para ello se revisa la presión y la temperatura de dicho gas en un contenedor de acero y se obtienen datos como los siguientes:

Temperatura (Kelvin)	Presión (atmósferas)
100	0.6
140	0.8
180	1.0
220	1.2
260	1.4

- Representa con una gráfica el comportamiento del aire
- ¿Cómo es la relación entre la presión y la temperatura del aire?
- ¿Cuál es el modelo matemático o ecuación que puedes obtener a partir de estos datos?

6. Un corredor desea mantenerse en forma para su próxima competencia. Para mejorar su capacidad decidió registrar las distancias que cubrió y los tiempos que tardó cierto día en su entrenamiento.

- ¿Cuál es el modelo matemático que representa su rendimiento?
- De acuerdo con el inciso anterior, si su objetivo es superar una rapidez de 6 m/s, ¿le falta entrenar o ya cumplió su meta?

