



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**MAESTRIA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA
SUPERIOR**

**LAS ACTIVIDADES LÚDICAS Y LA CONSTRUCCIÓN DEL
CARBONO TETRAÉDRICO DURANTE LA ENSEÑANZA DE LA
QUÍMICA EN LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRO EN DOCENCIA
PARA LA EDUCACIÓN MEDIA
SUPERIOR, QUIMICA.**

P R E S E N T A

M. en C. Alejandro Rojano Moral

**Tutora: M. en C. Graciela
Edith Müller Carrera**

Septiembre 2012

FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mi familia, amigos y compañeros.

A la DGAPA por el apoyo recibido para llevar a cabo este trabajo.

A las maestras Graciela Edith Müller Carrera y Leonor Pinelo y Baqueriza, por el apoyo constante durante el desarrollo de este proyecto.

A los miembros del jurado por sus valiosos comentarios que ayudaron a enriquecer el contenido.

En memoria de Edmundo Segundo Carrera Martínez, que no llegó a ver la culminación de este trabajo.

Los resultados surgidos de este trabajo fueron presentados en las siguientes modalidades y eventos:

- Cartel: “Actividad lúdica para la construcción del carbono tetraédrico”. Octava Convención Nacional y Primera Internacional de la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales, A. C. Ciudad de Zacatecas, México, noviembre de 2008.
- Ponencia: “Las actividades lúdicas en el aprendizaje de la química en la educación media superior”. Segundo Coloquio de Maestros de la MADEMS, FES Iztacala, Los reyes Iztacala, 3 de diciembre de 2008.
- Conferencia: “El carbono tetraédrico”. Curso-taller Actividades de aprendizaje para Química IV, Área I, Escuela Nacional Preparatoria Plantel 5 “José Vasconcelos”, 22 de abril de 2009.

Índice

	Página
Índice.....	3
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Introducción	7
1. Antecedentes.....	9
1.1. La educación química.....	9
1.2. Las teorías científicas.....	12
1.3. Los temas fundamentales de la química	13
1.4. La representación química	13
1.5. El pensamiento químico y el carbono tetraédrico	14
1.6. Las actividades lúdicas	16
1.7. El aprendizaje significativo.....	18
1.8. El cambio conceptual	21
1.9. El papel del juego en la escuela	22
1.10. El uso de los juegos en la educación química	23
1.11. Referencias del capítulo.....	24
2. Objetivos	26
2.1. Objetivo general.....	26
2.2. Objetivos particulares	26
3. Metodología	28
3.1. Primera actividad: la naturaleza de las teorías científicas y la elaboración de teorías.....	29
3.2. Segunda actividad: el carbono tetraédrico	30
3.3. Referencias del capítulo.....	34
4. Caracterización del grupo de prueba.....	36
4.1. El plantel	36
4.2. El grupo de prueba.....	36
4.3. Referencias del capítulo.....	40
5. La naturaleza de las teorías científicas y la elaboración de teorías.....	41
5.1. El juego “descubriendo la regla”	41
5.2. El juego “el misterio del asesinato”	43
5.3. Referencias del capítulo.....	45
6. El carbono tetraédrico.....	46
6.1. Cuestionario previo a la actividad.....	46
6.2. El carbono tetraédrico.....	50
6.3. Cuestionario posterior a la actividad.....	55
6.4. Conclusión de la prueba definitiva	60
6.5. Recapitulación	62
6.6. Referencias del capítulo.....	64
7. Conclusiones y perspectivas.....	65
7.1. Conclusiones.....	65
7.2. Perspectivas	66
7.3. Referencias del capítulo.....	67

Anexo 1. Cuestionario de caracterización del grupo	69
Anexo 2. Proyecto clis. Parte b: la naturaleza de la teoría científica y la elaboración de teorías	70
Anexo 3. Cuestionario previo a la actividad	80
Anexo 4. Indicaciones de la actividad del carbono tetraédrico	81
Anexo 5. Cuestionario posterior a la actividad	82
Anexo 6. Primera prueba piloto	83
Anexo 7. Segunda prueba piloto	86

Resumen

El siguiente trabajo presenta una propuesta didáctica para introducir a las y los estudiantes de educación media superior (Colegio de Ciencias y Humanidades, CCH, de la Universidad Nacional Autónoma de México) al estudio de la teoría científica y su aplicación en la construcción del carbono tetraédrico mediante actividades lúdicas, así como la evaluación de las mismas. El trabajo se presenta como un estudio de caso estructurado, mientras que la recolección de resultados se hace mediante una observación participante no estructurada donde se utilizan los resultados generados por las y los estudiantes durante el desarrollo de las actividades.

Las actividades se desarrollan en varias etapas (diseño, aplicaciones piloto y aplicación definitiva) dentro de los Programas de estudio de Química I y Química II del CCH.

Entre los resultados se encontró que las y los estudiantes reconocen el proceso para elaborar una teoría que explique un hecho y, al aplicar dicho proceso a la construcción del carbono tetraédrico, desarrollan el uso de las rotaciones como herramienta para corroborar que dos representaciones químicas son equivalentes y aplican bastante bien el concepto de carbono tetraédrico en la resolución de un problema sencillo, pero con dificultad al extrapolarlo a representaciones más complicadas.

Sobre la propuesta didáctica, se pudo observar que los juegos permiten relajar la tensión durante cada una de las actividades y permiten además que las y los estudiantes hagan propuestas y den explicaciones para cada punto que se les solicita o que ellas y ellos mismos observan. Al parecer, la enseñanza en el marco de las actividades lúdicas permite una mayor participación de las y los estudiantes, un mayor acercamiento entre docentes y estudiantes y una buena permeación de la o del docente a la forma de pensar de las y los estudiantes.

Abstract

The following work presents a didactic purpose to introduce to the students of high school (Colegio de Ciencias y Humanidades, CCH, of the Universidad Nacional Autónoma de México) to the study of the scientific theory and its application in the construction of the tetrahedral carbon through ludic activities, as well as the evaluation of the same. The work is presented as a structured case study, while the collection of results is made through a non-structured participant observation where the results generated by the students during the development of the activities are used.

The activities are developed in several stages (design, pilot applications and final application) within the framework of the Curricula of Chemistry I and Chemistry II of the CCH.

The results found demonstrate that the students can recognize the process for developing a theory that explains a fact and, during the application of this process to the construction of the tetrahedral carbon, they develop the use of rotations as a tool to verify that two chemical representations are equivalent and they use adequately the tetrahedral carbon concept in solving a simple problem, but with difficulty to extrapolate to more complex representations.

On the didactic purpose, it is observed that games allow relaxing the tension in each activity and they also allow the students to propose ideas and to give explanations in each item that they are requested or that they themselves observe. Apparently, teaching in the framework of ludic activities allows greater participation by the students, a better approaching between teachers and students and a good permeation of the teacher to the students' mind.

Introducción

El artículo tercero de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos declara que la educación en México tenderá a desarrollar armónicamente todas las facultades del ser humano para asegurar la formación de ciudadanas y ciudadanos críticos, reflexivos, capaces de transformar su realidad e impulsar el desarrollo económico y social. Así, la Ley General de Educación establece que la educación es el medio fundamental para adquirir, transmitir y acrecentar la cultura, infundir la democracia, estimular la investigación científica e innovación tecnológica, impulsar las artes y el valor cultural y aprovechar racionalmente los recursos naturales y la protección del ambiente. Además, en el Programa Nacional de Educación 2001-2006 se consigna que la Educación Media Superior (EMS) es el punto estratégico en la construcción de una nación justa y educada.

Sin embargo, lo anterior no se alcanza por decreto, sino que para lograrlo es necesario establecer los medios y aplicarlos sistemáticamente en conjunto y en cada asignatura, instrumentando las formas y apoyos concretos para el trabajo docente, atendiendo las situaciones sociales y culturales de docentes y estudiantes. De ahí que sea necesario identificar problemas en la educación y hacer propuestas metodológicas o innovaciones específicas dentro de la EMS lo que implica diseñarlas, aplicarlas y explicar los resultados.

Dentro de la Educación Química, aunque entre los objetivos más importantes en la actualidad es difundir el buen aprovechamiento de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente, se plantea un objetivo democratizador en el que se lleva al individuo a reflexionar sobre el mundo que lo rodea y a tomar decisiones, sin llegar a profundizar pero tampoco sin dejarse llevar por misterios o creencias.

Muchas decisiones a tomar en la actualidad son las relacionadas con los procesos catalíticos y los medicamentos, en cuyas explicaciones está involucrada la estructura tridimensional de la materia, de tal suerte que hay profesionales que coinciden en que es un tema fundamental que se debe revisar en la Educación Química, por lo que dentro de la EMS es necesario ver un modelo muy sencillo que permita introducir a las y los estudiantes en el tema y mostrar su importancia.

Sin embargo, hay un problema más dentro de la Educación Química: la creencia de que aprender y entender la química es algo muy complicado y que sin duda requiere de memorizar todos y cada uno de los conceptos que se revisan, volviéndose su aprendizaje un tanto agresivo y limitándose el interés de las y los estudiantes a los cambios sorprendentes en los experimentos.

Desde el panorama descrito, en este trabajo se presentan los resultados de la aplicación de una serie de actividades que introducen a las y los estudiantes al estudio de la teoría científica y su aplicación en la construcción del carbono tetraédrico así como la evaluación de las mismas. La aplicación es mediante actividades lúdicas dentro de un marco conceptual del aprendizaje significativo (en la primera y segunda etapa de la asimilación), atendiendo a que los juegos rompen con la rigidez de la enseñanza y permiten un mayor acercamiento de las y los estudiantes a un tema de química.

Las ideas de las que surge este trabajo es del problema que tienen las y los estudiantes de hacer representaciones tridimensionales después de haberles “expuesto” en el pizarrón que el carbono se une a cuatro entidades. Este problema se observó durante la práctica docente en el que las y los estudiantes prefieren las representaciones planas a pesar de trabajar con modelos de bolas y postes con configuraciones predeterminadas (triangulares, cuadradas y tetraédricas).

1. Antecedentes

“Los químicos son seres humanos que trabajan con emoción.”
John Wong

1.1. La educación química

Muchos de los problemas que nos aquejan en la actualidad tienen su origen en la educación y, por lo tanto, también su solución se encuentra en ella. Sin embargo, como menciona Crespo⁽¹⁾, actualmente se debe dar una educación para la democracia que nos permita ser críticos en las decisiones que tomamos día a día en todos los niveles sociales.

Jacques Delors⁽²⁾ nos recuerda que no debemos perder de vista las tensiones que se generan al afrontar la problemática de la educación del siglo XXI: lo mundial y lo local, lo universal y lo singular, la tradición y la modernidad, el largo plazo y el corto plazo, la competencia y la igualdad de oportunidades, el desarrollo de conocimientos y la capacidad de asimilación, lo espiritual y lo material.

Ante los problemas ambientales que se han venido percibiendo a lo largo del siglo XX, y de los cuales se ha mostrado demasiado interés en los últimos años, Hoffmann⁽³⁾ expone que la sociedad considera a la química y a los químicos como productores de contaminantes. Es más, se aprecia muchas veces una actitud quimiofóbica producto de la ignorancia. El hecho de no tener interés en saber cómo se está afectando la salud, por ejemplo, y dejar siempre que las y los demás se preocupen por ello es ingenuo, acientífico y antidemocrático. “Antidemocrático porque no sólo es nuestro derecho saberlo, sino que es nuestro deber saberlo como [ciudadanas y] ciudadanos”. Además “la mente de la gente se abre cuando el conocimiento se acompaña por una relación con algo fundamental: un desastre, algo relacionado con nuestro cuerpo, incluso lo lascivo y escandaloso. Uno puede usar los sucesos infortunados en un sentido educativo.”

Hoffmann ve la educación como parte fundamental del proceso democratizador, como un privilegio y un deber de las y los ciudadanos, remarcando dos preocupaciones: la ignorancia de los procesos básicos del mundo que nos rodea, especialmente aquellos en los que los humanos están

involucrados directamente, para entender y actuar y no ser ajenos al problema ni inventar misterios; y la ignorancia sobre la química que impida a la gente común tomar decisiones.

De lo anterior se remarca la necesidad de que se impartan cursos de química de modo que lleguen a un público más amplio de forma atractiva, estimulante y fascinante dirigidos a ciudadanas y ciudadanos comunes y no profesionales.

1.1.1. El estado del arte de la educación química

Cary⁽⁴⁾ menciona que la química en la EMS aún presenta ciertos patrones que se han mantenido durante varias décadas y que no les permite crecer a las y los docentes. Menciona que las y los docentes son buenos preparando estudiantes para el siguiente nivel e incluso creen que las y los mejores estudiantes de la clase irán a alguna carrera de química.

El problema básico de la educación química en la EMS es que se pretende “transmitir” las características esenciales en términos de conceptos, patrones y teorías y los procesos asociados a ellos. Se busca una educación química terminal para quienes que no la estudiarán nunca más y se espera que desarrollen una apreciación de las implicaciones científica, social, económica, ambiental y cultural de la química dentro de los conocimientos, principios y modelos químicos. Cosa que no es posible con un solo curso de química.

Por otro lado, Cary critica a las y los docentes de química que han perdido el idealismo juvenil, de tal forma que la crisis que presenta la educación química es la falta de desarrollo al par de la sociedad moderna y considera que para rejuvenecer los esfuerzos es necesario tener modelos a seguir, nuevos materiales didácticos, suficiente formación inicial y continua de docentes para implementar nuevas ideas, estrategias y materiales.

1.1.2. Los modelos

Hay tres aspectos del aprendizaje que se deben considerar en la educación científica: desde una edad muy temprana se tienen significados para las palabras e ideas sobre cómo y por qué las cosas en su ambiente natural se comportan como lo hacen; las ideas y los significados sostenidos son algunas veces influenciadas por la exposición considerable a la enseñanza científica; cuando los puntos de

vista cambian como resultado de las nuevas experiencias de aprendizaje algunas veces lo hacen en formas inesperadas por las y los docentes o las y los diseñadores del currículo.

Arons⁽⁵⁾ menciona que una estrategia que ayuda a las y los estudiantes a entender conceptos abstractos es hacer preguntas simples, secuenciadas y dirigiendo a la o al estudiante de una manera verdaderamente socrática. Después de cada pregunta, uno debe guardar silencio y escuchar cuidadosamente la respuesta; es aquí donde los errores, malas concepciones y malos pasos de la lógica son revelados. Uno no aprende nada dando a las y los estudiantes la respuesta correcta o explicaciones lúcidas.

Por otro lado, Cary menciona que además la educación química se debe relacionar con el ambiente cotidiano, se debe enfocar en formar un pensamiento crítico y relacionar la química y la tecnología con un futuro positivo.

1.1.3. Nuevos materiales didácticos

Dentro de la creación de nuevos materiales en la educación química se han encontrado trabajos como los propuestos por de Vos⁽⁶⁾ para iniciar el estudio de las reacciones químicas, que toma en cuenta los aspectos mencionados por Cary y que se apegan en gran medida a la estrategia recomendada por Arons. Las propuestas de de Vos resultan interesantes por la profundidad reflexiva que propicia en las y los estudiantes y porque, debido a la sencillez, el desarrollo de los experimentos y planteamiento de las preguntas y argumentos permite ir revisando características de las reacciones químicas bien definidas.

De este modo, en lugar de entrar en definiciones se recurre a la vivencia de la química, lo cual permite crear en la o el estudiante un significado de la reacción química. Sin embargo, debido a que el ambiente en el que se desarrolla es el laboratorio, se puede correr el riesgo de que se piense que las reacciones ocurren sólo allí y con las sustancias que están allí. Es por eso que se hace énfasis en ir más allá de sólo utilizar “reactivos” y trabajar con sustancias comunes.

El otro aspecto importante de las propuestas de de Vos es el aspecto de la socialización de las ideas de las y los estudiantes mediante la discusión en grupo que permite, por un lado, ir dando autonomía en su aprendizaje y, por otro lado, obtener confianza en cuanto a la elaboración de hipótesis y teorías sobre las observaciones que hace.

Otro material de gran valor es el llamado Proyecto CLIS Approaches to Teaching the Particulate Theory of Matter⁽⁷⁾ que plantea opciones sobre cómo acercar a las y los estudiantes a la comprensión del objeto de estudio de la química: la materia y sus cambios. Especialmente la Parte B (**Ver Anexo 2**) tiene características muy peculiares pues se desarrolla en forma de juego, con lo que se capta la atención y el interés de las y los estudiantes. Además, va más allá de la mera teoría sobre la concepción, construcción y cambio de teorías y da un paso adelante sobre lo que es ya la aplicación en la educación química. El gran valor de este proyecto es que no se detiene en definir conceptos sobre la psicopedagogía de la enseñanza y del aprendizaje, sino que va directo a la aplicación partiendo de conocer el ambiente bajo el cual están la materia en cuestión y la concepción del aprendizaje de las y los estudiantes.

Finalmente, una propuesta más reciente es el proyecto Química Salters cuyo rasgo más característico es el de ofrecer a las y los estudiantes una aproximación al estudio de la química, supuestamente mucho más atractiva que la que ofrecen los cursos tradicionales, basada en aprender a partir de sus aplicaciones y, por lo tanto, su cercanía a la vida cotidiana.⁽⁸⁾

1.2. Las teorías científicas

Hawking⁽⁹⁾ menciona que una teoría científica es simplemente un modelo del universo, o de una parte de él, y un conjunto de reglas que lo relacionan con las observaciones que realizamos y que ésta sólo existe en nuestras mentes. Una teoría es buena siempre que describa con precisión un amplio conjunto de observaciones y que prediga los resultados de observaciones futuras. De esta manera, la teoría sobrevive y nuestra confianza en ella aumenta. Pero si por el contrario la nueva observación contradice la teoría, la abandonamos o la modificamos.

Es muy difícil construir una única teoría capaz de describir todo el universo. En vez de ello, inventamos teorías parciales que describen acontecimientos limitados y omiten otros o los aproximan. La química, por ejemplo, nos permite predecir interacciones entre átomos sin conocer su estructura interna.

Por otro lado, las teorías son modificadas continuamente para explicar nuevas observaciones, y nunca son simplificadas de manera que la gente común pueda entenderlas. Además, el ritmo de progreso es tan rápido que lo que se aprende en la escuela o en la universidad está siempre algo

desfasado. Por ello es necesario saber cuál es la naturaleza y cómo se elabora una teoría científica, y más aún, como puede ayudarnos en nuestra vida cotidiana.

1.3. Los temas fundamentales de la química

Al preguntarse por los temas fundamentales en química, comenta Gillespie,⁽¹⁰⁾ debemos pensar que se está formando a las y los futuros profesionales en química, biología, física, geología, ingenierías, medicina, medio ambiente y además a ciudadanas y ciudadanos bien educados que entiendan la química. Así, sugiere seis conceptos básicos que se deben revisar: átomos, moléculas y iones (¿de qué está conformada la materia?); enlace químico (¿qué mantiene unidos a los átomos?); tridimensionalidad (¿cómo están dispuestos los átomos en el espacio?); teoría cinética (¿cómo se mueven los átomos?); reacción química (¿cómo se forman y desaparecen nuevos enlaces químicos?); energía y entropía (¿qué promueve una reacción química?). A través de estos seis conceptos, sugiere, que se pueden introducir ideas no con más importancia pero que son necesarios para entenderlos y más adelante, si se requiere, profundizar en ellos.

1.4. La representación química

La representación química es parte del lenguaje de la química. Sin embargo, la representación de la estructura de una molécula no sólo expresa los elementos de los que está constituida sino que además cómo están conectados entre sí en el espacio tridimensional —por lo que la representación química expresa la composición, la conectividad y la configuración— lo cual determina finalmente sus propiedades físicas y químicas.

Pero en la representación química hay un problema, las moléculas son tridimensionales y su representación se hace en medios bidimensionales: el pizarrón, la hoja de papel o la pantalla. Por lo tanto, dado que la representación de estructuras químicas también es un acuerdo entre las y los químicos, se tiene que aprender la equivalencia entre ellas para comprenderla mediante el pensamiento topológico y para eso se requiere de un proceso de actividad intelectual que más tarde permitirá la solución de problemas.⁽¹¹⁾

1.5. El pensamiento químico y el carbono tetraédrico

Ramberg⁽¹²⁾ menciona que la construcción del carbono tetraédrico durante la enseñanza de la química se ha hecho en las y los estudiantes de manera implícita en lugar de explícita mediante las representaciones bidimensionales en lugar de las tridimensionales, haciendo también implícitas sus relaciones químicas y espaciales.

El origen de las representaciones tridimensionales se remonta a las esferas de madera de John Dalton y a las representaciones que ya existían en las décadas de 1850 y 1860, especialmente en química orgánica, aunque inicialmente el propósito no era la representación tridimensional ya que ni siquiera se aceptaba la existencia del átomo. Es hasta 1874 cuando aparece la teoría del carbono tetraédrico de Van't Hoff que dio sentido a estas representaciones, de tal suerte que antes y después de 1874 los modelos representacionales eran y no eran lo mismo: eran lo mismo dado que se seguían utilizando para representar la misma sustancia, pero no eran lo mismo dado que conceptualmente el significado había cambiado.

Antes de 1874, ya se sabía que cada elemento se relacionaba con otros en una proporción fija y de allí surgió el término valencia como el número de uniones que podía tener con otros elementos. De modo que para el carbono se sabía que tenía una valencia de cuatro. Cuando se sugiere la representación tetraédrica del carbono se señala que la importancia del tetraedro no son las caras sino los vértices. Pero Meyer reconoció que en las representaciones era más conveniente el uso de las “líneas de valencia” que los absurdos tetraedros en las estereofórmulas.

En 1869, comenzó una lucha entre químicos y físicos sobre la comprensión de la unión de los elementos para formar compuestos. Mientras los químicos hablaban de afinidad, los físicos hablaban de fuerza y sabían que existía por sus efectos pero no quedaba claro cómo se originaba. La afinidad química la explicaban por analogías como la gravedad y la electricidad pero no se explicaba cómo era que sucedía. El hecho de que esta fuerza no operara en todas direcciones en el espacio, sino sólo en ciertas direcciones, contradecía el concepto de fuerza atractiva. Así que la propuesta de Van't Hoff sobre tetraedros trabajaba muy bien, pues las fuerzas atractivas se orientaban hacia los vértices y predecía los isómeros.

Entonces el átomo de carbono debía consistir en una simetría tetraédrica pero ¿qué significaba “átomo de carbono tetraédrico”? Pues simplemente que la distribución espacial de sus valencias alrededor del átomo lo era. Así, el uso de diferentes modelos ilustra el uso pragmático de las

estereofórmulas sin interesarse en la “apariencia del átomo de carbono”. De este modo, se negó la necesidad de una teoría de valencia en la estereoquímica ya que no se requería una idea específica sobre el tipo y causa de la cohesión intramolecular de los átomo (naturaleza de la afinidad química) o sobre los tipos y causas de las relaciones en las cuales se combinan los diferentes átomos (naturaleza de la valencia) sólo se requería la idea, probada por la existencia del isomerismo, que los átomos no están situados en la molécula en un estado caótico sino en una posición de equilibrio estable con ciertos límites. Por tanto, no era necesario postular un modelo del átomo.

No obstante, existía aún el problema del modelo de Van't Hoff para el enlace doble, ya que era físicamente imposible debido a que las líneas de enlace no van en una línea recta entre los átomos de carbono. Lo anterior implicaba que los átomos multivalentes fueran objetos tridimensionales con líneas rectas entre átomos de carbono y, por lo tanto, era posible considerar un átomo de carbono como un objeto cuya forma parecía más o menos (o quizá muy cercanamente) a un tetraedro regular.

El uso de estereofórmulas ilustra una tendencia general de las y los químicos a ser pragmáticos, en el sentido simple de ser prácticos al adoptar herramientas y conceptos necesarios para alcanzar sus metas, incluso si originan preguntas físicas y filosóficas importantes, pues se adoptó el principio de valencia casi sin preguntas, ya que ayudó a explicar el comportamiento químico de las sustancias y existencia de isómeros.

Las y los químicos también han tenido una actitud pragmática similar hacia el uso de la teoría atómica, excluyendo preguntas sobre la verdadera realidad de los átomos y procediendo a usarlos como si existieran. De manera similar, las y los químicos han construido y utilizado estereofórmulas pragmáticamente como si el tetraedro fuera real. Las estereofórmulas fueron herramientas para representar visualmente lo que no podía describirse verbalmente y las preguntas no se respondieron ya que no requerían una respuesta.

Los modelos atómicos fueron independientes a la teoría química e irrelevantes para el progreso de la estereoquímica, dígame, su capacidad para predecir isómeros o postular mecanismos de reacción. Concluyendo que las representaciones mismas de los átomos, las moléculas, sus dimensiones y quizá sus formas son ante todo algo dudosos como lo es el tetraedro mismo.

En su momento, no se conocía la naturaleza de la valencia pero se sabía que, de acuerdo a las observaciones, un átomo de carbono poseía cuatro veces más “capacidad de unirse” que lo que tiene un átomo de hidrógeno. Por lo tanto, la estereoquímica creó la primera fundación epistemológica plausible para un atomismo físico verdadero en química.

Los químicos tenían la firme convicción de que la química llegaría a ser una verdadera ciencia sólo cuando se redujera a las leyes de la física descritas por las matemáticas, por lo que sintieron la necesidad de sugerir bases físicas para las teorías químicas. Sin embargo, químicos como Meyer⁽¹³⁾ notaron que la falta de principios matemáticos rigurosos daban al “pensamiento químico” una plasticidad de la cual la lógica y las matemáticas carecían. Él decía que en la química se tiene una mayor tendencia al pensamiento imaginativo o a la especulación que trae un disfrute creativo similar a aquella experimentada en el arte. “El ‘presentimiento’ de sucesos, la realidad que no está indicada por ninguna ley que los exprese en palabras, ha mostrado resultados sorprendentes: aquí el pensamiento es ayudado por algo que, mientras tanto, podríamos llamar ‘sentimiento químico’, un nombre que desaparecerá tan pronto como la aproximación progresiva de la química a la base físico matemática dé a conocer su significado y se encargue de tabularlo entre los métodos que den lugar al reconocimiento del nuevo nombre.”

1.6. Las actividades lúdicas

La propuesta de este trabajo es presentar las actividades planeadas, lo más atractivas posibles a las y los estudiantes y dejar de lado la creencia de que la química es difícil, por lo cual se situaron dentro de un ambiente de juego. Sin embargo, ¿qué define un juego o, de manera general, una actitud lúdica?

En este trabajo, lo que ha de llamarse actitud lúdica se basa en las características del juego desde una visión social y que describe Johan Huizinga en *Homo ludens*.⁽¹⁴⁾

El juego es una actividad libre, por lo tanto, lo que es por mandato no es juego. Así, la primera característica principal del juego es que es *libertad*. Libertad de expresarse, libertad de moverse, libertad de crear, libertad de decidir, mediante el establecimiento de ambientes que lo permitan.

La segunda característica del juego es que no es la vida “corriente” sino más bien escapa de ella, es un “como si...” o una simulación que se presenta como un *intermezzo* en la vida cotidiana, un tiempo de recreo y para recreo.

El juego está encerrado en sí mismo, por lo tanto se juega dentro de determinados límites de tiempo y espacio: agota su curso y su sentido dentro de sí mismo; comienza y en determinado momento termina. Mientras se juega hay *movimiento*, un ir y venir, un cambio, una seriación, *enlace* y

desenlace. Claro, este enlace y desenlace son importantes sólo para quienes se involucran en la esfera del juego y se comprometen con él, que le encuentren sentido, de lo contrario no significa nada.

Después de jugar, el juego *permanece* en el recuerdo como una creación que se transmite y se repite en cualquier momento, inmediato o lejano después de terminado.

El juego crea orden y es *orden*, ya que lleva el mundo imperfecto a una perfección provisional y limitada. Debido a su ritmo y armonía, tiende a ser bello y, debido a que libera, entusiasma al que lo juega.

La tensión es incertidumbre, está más allá del bien y del mal y presta cierto contenido ético al juego. Esta tensión tiende hacia la resolución, por lo que pone a prueba las facultades de quien juega: su fuerza corporal, su resistencia, su inventiva, su arrojo, su aguante porque en medio de su ardor para ganar el juego tiene que mantenerse dentro de las reglas.

Habiendo definido las características del juego, se puede ver que el juego es lo no serio pues es libre o representa libertad, se sitúa fuera de la vida corriente en tiempo y espacio e introduce un orden mediante reglas que se aceptan también libremente. Por otro lado, el juego es serio dado que uno juega sabiendo que juega, con seriedad, con entrega total y con entusiasmo.

Finalmente, se puede preguntar ¿para qué o por qué se juega? Huizinga menciona que se juega por la victoria misma (la forma de disfrutarla es lo que le da más valor), por el triunfo que es celebrado por el grupo y, como consecuencia, por el honor y el prestigio. La forma de disfrutarlo fomenta, además, el sentimiento de identidad y de integración con el grupo, surge entonces el objetivo final del juego: la solidaridad y el bien común, de allí que también se vea como una ventaja de la introducción de juegos en el salón de clase. Pero también se juega para obtener algo, ya sea material, ideal o simbólico, o se puede incluso jugar para ganar el bienestar del grupo. Pero lo que más importa es ser la o el primero y ser reconocida o reconocido como tal.

Ahora, ¿por qué plantear el juego en la educación y principalmente en el salón de clase? Primero, porque el juego no es mandato y eso ya plantea una invitación; segundo, al ser momento de recreo evita la tensión creada por un tema desconocido; tercero, al ser juego y sentir que es juego se puede preguntar más libremente y dar respuestas sin miedo a equivocarse; y finalmente, en el juego se puede asimilar una “regla” más fácilmente ya que no se plantea aprender algo de memoria sino que puede ir apropiándose de ella al construirla y aplicarla directamente a la solución de algún problema.

1.7. El aprendizaje significativo

En la teoría del aprendizaje significativo, Ausubel⁽¹⁵⁾ tiene el interés de conocer y de explicar las condiciones y propiedades del aprendizaje e intenta relacionarlas con las formas que de manera efectiva y eficaz produce cambios cognoscitivos estables que dotan de significado individual y social las personas. Sin embargo, su visión no se da desde la psicología ni desde el desarrollo sino desde lo que ocurre en el aula que hace que las y los estudiantes aprendan, es decir, desde la naturaleza del aprendizaje, las condiciones que se requieren, sus resultados y su evaluación.

Ausubel distingue dos dimensiones en el aprendizaje: por un lado, distingue aquella que corresponde al *aprendizaje por recepción* en el cual la o el estudiante recibe totalmente la información de otra persona y cuyo opuesto es el *aprendizaje por descubrimiento autónomo* en el cual la o el mismo estudiante descubre aquello que tiene que aprender. La otra dimensión es la que abarca el *aprendizaje por repetición* en el cual la o el estudiante, al no tener los conocimientos previos necesarios para promover el aprendizaje significativo, sólo hace las cosas al pie de la letra, por supuesto, su opuesto es el *aprendizaje significativo*. Estas dos dimensiones cubren un continuo que va de lo receptivo a lo descubierto y de la repetición a lo significativo que trae como consecuencia que, ya sea que se presente un aprendizaje por recepción o por descubrimiento, ello puede llevar a un aprendizaje significativo o a uno por repetición. Esto tiene una seria implicación, ya que se cree que el aprendizaje por descubrimiento trae un aprendizaje significativo y el aprendizaje por recepción trae un aprendizaje mecánico cuando en realidad puede posicionarse en cualquier punto del continuo de las dos dimensiones (ver **Figura 1.1**).

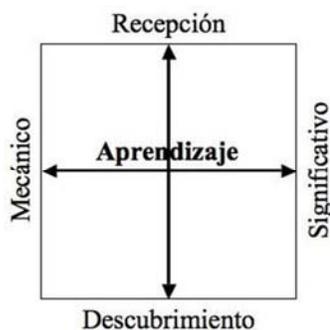


Figura 1.1. Las dos dimensiones del aprendizaje: aprendizaje por descubrimiento – aprendizaje por recepción, eje vertical, y aprendizaje mecánico – aprendizaje significativo, eje horizontal.

El aprendizaje significativo es un proceso por el cual el nuevo conocimiento se fija a la estructura cognoscitiva de la o del estudiante de manera sustantiva y no literal. Entendiendo la estructura cognoscitiva como el bagaje de significados adquiridos y retenidos en grandes cuerpos en la escuela. Para que se lleve a cabo la fijación de este nuevo conocimiento es necesario que haya algunas formas relevantes presentes en la estructura cognoscitiva que lo permitan: los *subsumidores* o *ideas de anclaje*, que dan significado al nuevo contenido gracias a la unión y a la interacción que los transforma en la estructura cognoscitiva, lo que los hace más diferenciados, elaborados y estables. Así, el aprendizaje significativo no es sólo el resultado sino todo el proceso que ocurre cada vez en etapas más complejas (ver **Figura 1.2**).



Figura 1.2. Estructura del aprendizaje cognoscitivo de acuerdo con Ausubel, donde el aprendizaje significativo es todo el proceso y no sólo el producto.

Sin embargo, la nueva información a aprender debe tener un *significado lógico* (una estructura organizada para la o el estudiante) y un *significado cognoscitivo* (acorde a la estructura cognoscitiva de la o del estudiante). Pero esto aún no es suficiente para lograr un aprendizaje significativo sino que además, para que pueda aprender, debe haber una *actitud favorable* de la o del estudiante (desarrollo cognoscitivo adecuado) y querer aprender. Eso último implica un componente *emocional-afectivo* en el que se puede influir mediante la motivación.

Por ello debe haber un proceso en el que la o el estudiante posee, además de los conocimientos previos necesarios, una actitud favorable cargada de afecto y motivación hacia el aprendizaje que permite que sea significativo. Es ahí donde el juego hace su aparición, invitando a la o al estudiante a participar y plantearlo para que sea el medio y no el fin y para que al final el significado no esté en el juego sino en lo que se alcance con él.

1.7.1. La etapa de asimilación

En el aprendizaje por descubrimiento la o el estudiante adquiere el significado descubriéndolo, dando así el primer paso de la asimilación, reordenando la información, integrándola a la estructura cognoscitiva y transformándola hasta alcanzar el producto final. Después de este proceso, el contenido descubierto se puede hacer significativo.

La asimilación está compuesta de cuatro etapas: (a) la primera etapa es la adquisición del significado subordinado a' , el cual es producto de la nueva idea potencialmente significativa a al relacionarse a la idea establecida A en la estructura cognoscitiva que resulta en $A'a'$; (b) la segunda etapa es la retención inicial del significado a' , en la cual el nuevo significado a' es disociable de $A'a'$; (c) la tercera etapa es la retención posterior del significado a' , que se caracteriza por la pérdida gradual de la disociación del significado a' de $A'a'$; (d) la cuarta etapa es el olvido del significado a' , en donde a' deja de disociarse eficazmente de $A'a'$ y a' se reduce a A' (ver **Figura 1.3**).

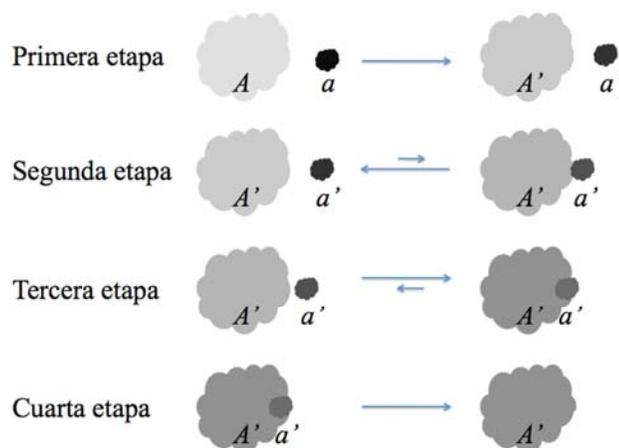


Figura 1.3. Representación de los procesos en las etapas de la asimilación. El tamaño de las flechas indica la facilidad de dirigirse en una u otra dirección de la disociación en cada etapa. A es la idea establecida y a es la nueva idea potencialmente significativa.

Este aprendizaje significativo puede ser representacional, conceptual y proposicional, aunque el primero llevará de manera natural al último, por lo que es de vital importancia colocarlo en la base del aprendizaje significativo.

En el *aprendizaje representacional* se adquiere el vocabulario necesario para representar los objetos que tienen significado para el aprendiz y está cerrado a uno solo. En el *aprendizaje conceptual* la representación se amplía a otras situaciones y se alcanza cierto grado de abstracción. Finalmente, en

el *aprendizaje proposicional* se asocian los conceptos logrados en el aprendizaje conceptual y forman estructuras más complejas o proposiciones gracias a las diversas combinaciones que constituirán las ideas de anclaje a nuevos conceptos y proposiciones. Pero para que se lleve a cabo es necesario contar con un poderoso vehículo que es el lenguaje, ya que se requiere comunicación entre las y los participantes de este aprendizaje.

Rodríguez Palmero⁽¹⁶⁾ menciona que el aprendizaje significativo depende de la motivación, del interés y de la predisposición de la o del estudiante y, dado que la o el estudiante no puede engañarse a sí mismo en cuanto a su aprendizaje, es de importancia que tenga un papel activo en su propio aprendizaje, es decir, que pueda decidir qué aprender, por qué aprender y cómo aprender.

Además, por un lado, no hay aprendizaje significativo sin la interacción personal y, por otro lado, el aprendizaje dentro de las ciencias es también alcanzar la comprensión de los acuerdos a los que ha llegado una comunidad científica.

1.8. El cambio conceptual

El cambio conceptual es un fenómeno dentro de la enseñanza de las ciencias debido a la dificultad de las y los estudiante para compartir los acuerdos a los que ha llegado la comunidad científica. El cambio conceptual no es un proceso sencillo de llevar a cabo ni de explicar, ya que las concepciones o ideas previas, alternativas o ingenuas de las y los estudiantes tienen una estructura muy compleja que trae como consecuencia la resistencia al cambio.

Se ha planteado que las concepciones previas deben tener una estructura inicial que jamás se elimina, sino que se vuelve cada vez más compleja y permite estructurar y dar sustento a las nuevas ideas. De tal suerte que el cambio conceptual no ocurre como tal, sino que mediante el conflicto se alcanza una reestructuración y acomodo del nuevo conocimiento.⁽¹⁷⁾

Duit^(Error! Marcador no definido.) ha logrado identificar que el estudio del cambio conceptual se puede hacer a partir de tres posiciones: la epistemológica, la ontológica y la social-afectiva.

La *posición epistemológica* se enfoca en los conceptos y principios científicos pero se olvida del contenido (especialmente el relacionado con la vida cotidiana del estudiante), de la lógica de la estructura del contenido y del aprendizaje social y grupal. Puesto que las ideas iniciales de los niños se enriquecen y se reestructuran continuamente, se sugiere una teoría de enseñanza de la ciencia que

incluya el desarrollo cognoscitivo individual y los factores circunstanciales y culturales que lo facilitan.

La *posición ontológica* se centra en la satisfacción generada por las concepciones, es decir, cuando una nueva concepción no genera insatisfacción, ésta se asimila a la par de la concepción previa y puede generarse una concepción híbrida. Además, las concepciones no se destruyen, sino que se establecen en niveles dinámicos, por lo que cuando la nueva concepción alcanza un nivel en el que es más útil hay un cambio conceptual, aunque es posible que la concepción previa vuelva a alcanzar su antiguo nivel. Así, el estado conceptual no depende del maestro sino del estudiante y puede establecerse dependiendo de la naturaleza que se le asigne. Esta es la razón por la cual no se debe intentar dejar al estudiante con sólo una opción de concepción pues al final, dependiendo de la situación, utilizará la que más le convenga.

La *posición social-afectiva* se enfoca en la motivación social y grupal en el aprendizaje, tal que el control de la autoeficacia y creencias de los estudiantes, el ambiente social del aula, las metas del individuo, las intenciones, los propósitos, las expectativas y las necesidades son tan importantes como las estrategias cognoscitivas en el aprendizaje conceptual. Sin embargo, y como lo hace notar Duit, ésta ha sido una posición poco explorada, por lo que debe haber una fusión de las posiciones cognoscitivas y afectivas para lograr el interés que logran otros factores que hacen que las concepciones previas sean tan arraigadas en el estudiante.

1.9. El papel del juego en la escuela⁽¹⁸⁾

El juego permite mejorar las posibilidades de asistir a la escuela, aprender y trabajar en ella, a superar problemas de aprendizaje; permite convertir la inhibición en espontaneidad, actividad y dicha; y permite convertir la impulsividad en reflexión y responsabilidad.

Además, el juego permite confirmar la experiencia, fomentando la confianza en el sentir y la percepción y un desarrollo más genuino. Las actividades lúdicas ofrecen un espacio para enfrentarse a sí mismo, afrontar los conflictos desde una distancia más segura y en forma más amplia y abierta. De esta manera, quien juega no se ve obligada u obligado a hacer lo que se le pide y en varios casos permite aprender a reconocer qué es correcto, bueno o satisfactorio hacer.

El papel de la o del docente en los juegos es crear una atmósfera de seguridad y aceptación, de consideración positiva genuina; por lo que son vitales su postura empática hacia las y los estudiantes,

su experiencia y su expresión. Debe mostrar respeto por los pensamientos y sentimientos de los que juegan (por la sencilla razón de que son manifestaciones que le son propias), ser capaz de manejar su propia expresión física, ser emocionalmente genuino y estar disponible. Pero más que nada, la o el docente debe manifestar paciencia, respeto y sinceridad para que quienes juegan puedan confiar en ella o él.

Desde el modelo adleriano del juego se plantea que las personas están insertas en la sociedad, lo que significa que tienen una necesidad de pertenencia, que se orientan hacia metas y tienen propósitos motivados por el deseo de moverse. El hecho de que haya turnos en el juego permite mostrar que el poder se comparte en el recinto del juego. Desde este modelo se aprende a relacionarse con las y los demás, considerando que son capaces, que cuentan y que deben ganarse su relevancia en formas apropiadas, y tener el coraje o valor para asumir riesgos y probar cosas nuevas.

El modelo adleriano no pierde de vista que las personas interpretan de forma única situaciones e interacciones específicas, lo que significa que quien participa en cualquier experiencia tiene su propia forma de interpretar las circunstancias y la relación, por lo que se tiene que estar al tanto de todas estas interpretaciones subjetivas.

Otro concepto importante de este modelo es que cada persona es única, pues expresa constantemente una capacidad creativa al hacer las elecciones, por lo que se tiene que reconocer que cada individuo tiene la capacidad de hacer elecciones con base en su propia y única interpretación de las situaciones y relaciones y actuar como si tales interpretaciones fueran verdad. Tanto niñas y niños como personas adultas están siempre en libertad de tomar decisiones y hacer interpretaciones nuevas y diferentes, ejerciendo así su creatividad y singularidad.

1.10. El uso de los juegos en la educación química

No son pocos las y los docentes que utilizan los juegos en el salón de clases como alternativa para la comprensión, la familiarización, la práctica o la revisión de algún tema de clase.⁽¹⁹⁾ En la enseñanza de la química, el diseño y el uso de los juegos ha estado dirigido principalmente hacia la repetición de algún tema que se ha revisado previamente^(20,21) y son generalmente adaptaciones de los juegos de moda a temas de química.⁽²²⁾ El objetivo de los juegos de repetición es servir como herramientas para reforzar los conceptos nuevos,⁽²³⁾ mientras que el de los juegos de simulación, de los cuales hay pocos casos, es para hacer más comprensible algún concepto.⁽²⁴⁾ Sin embargo, no hay

información sobre juegos que se utilicen para el descubrimiento o construcción de algún concepto químico, los cuales dentro del salón de clase tendrían que estar dirigidos mediante reglas para lograr el objetivo.

De acuerdo con Piaget, las actividades lúdicas involucran un proceso en el cual los juegos pasan de imitación y práctica (o repetición) a juegos simbólicos y después a juegos de reglas y juegos de construcción.⁽²⁵⁾ Además, el juego contiene una fuerte carga afectiva que permite también la apropiación de significados mediante el involucramiento de quien lo juega en un “como si”, esto es, el juego se desarrolla como una analogía.^(14,26)

Como consecuencia, el juego es otro mediador del aprendizaje, no sólo en los niveles básicos de la educación, sino también en la EMS y más específicamente en la enseñanza de la química. De este modo, los juegos de descubrimiento además pueden potenciar la primera etapa de la asimilación en el aprendizaje significativo.

1.11. Referencias del capítulo

- ¹ Crespo, J. A. *Contra la historia oficial*. Ed. Debate, México, 2009, 335 p.
- ² Delors, J. “La educación o la utopía necesaria”, *La educación encierra un tesoro*. UNESCO, México, 1997, p. 12.
- ³ Hoffmann, R. *Lo mismo y no lo mismo*. Fondo de Cultura Económica. México, 1997, pp. 224-226.
- ⁴ Cary W. R. “State of art in the high school curriculum.” *J. Chem. Educ.*, 1984, 61(10), 856-857.
- ⁵ Arons A. B. “Education through science.” *J. Coll. Sci. Teach.*, 1984, 13, 210.
- ⁶ De Vos W., Verdonk A. H. “A new road to reactions. Part I.” *J. Chem. Educ.*, 1985, 62(3), 238-240. “A new road to reactions. Part 2.” *J. Chem. Educ.*, 1985, 62(8), 648-649. “A new road to reactions. Part 3. Teaching the heat effect of reactions.” *J. Chem. Educ.*, 1986, 63(11), 972-974. “A new road to reactions. Part 4. The substance and its molecules.” *J. Chem. Educ.*, 1987, 64(08), 692-694. “A new road to reactions. Part 5: The elements and its atoms.” *J. Chem. Educ.*, 1987, 64(12), 1010-1013.
- ⁷ “Approaches to teaching the particulate theory of matter.” *Children’s Learning in Science Project*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. The University of Leed, UK, 1987.
- ⁸ *Química Salters*, Edición experimental, 1999. Departament d’Ensenyament de la Generalitat de Catalunya. Conselleria de Educació i Cultura de la Generalitat Valenciana.
- ⁹ Hawking S. W. *Breve historia del tiempo*. Ed. Planeta, 1992, 194 p.
- ¹⁰ Gillespie R. J. “The Great Ideas of Chemistry”. *J. Chem. Educ.*, 1997, 74, 862-864.
- ¹¹ Turro N. J. “Geometric and topological thinking in organic chemistry”, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 1986, 25, 882-901.

-
- ¹² Ramberg P. J. "Pragmatism, Belief, and Reduction. Stereoformulas and Atomic Models in Early Stereochemistry." *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2000, 6(1), 35-61.
- ¹³ Meyer V. "The chemical problems of to-day." *J. Am. Chem. Soc.* 1889, 11, 101-120.
- ¹⁴ Huizinga J. *Homo ludens*. Primera edición, El libro de bolsillo, Alianza Editorial, Madrid, 1996, 269 p.
- ¹⁵ Ausubel D. P. *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. Ed. Trillas, México, 1978, 769 pags.
- ¹⁶ Rodríguez Palmero, M. L. "La teoría del aprendizaje significativo." *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proc. of the First Int. Conference on Concept Mapping*. A. J. Cañas, J. D. Novak, F. M. González (Editores). Pamplona, Spain 2004.
- ¹⁷ Martí E., García-Mila M. "Cambio conceptual y cambio representacional desde una perspectiva evolutiva. La importancia de los sistemas externos de representación." *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia*. Primera edición, A. Machado Libros S. A., Madrid, 2007, p. 91-106.
- ¹⁸ Charles E. Schaefer. "Fundamentos de terapia de juego".
- ¹⁹ Capps K. "Chemistry Taboo: an active learning game for the General Chemistry classroom". *J. Chem. Educ.*, 2008, 85, 518.
- ²⁰ Russell J. V. "Using games to teach chemistry. An annotated bibliography". *J. Chem. Educ.*, 1999, 76, 481.
- ²¹ Granath P. L., Russell J. V. "Using games to teach chemistry. 1. The old prof card game". *J. Chem. Educ.*, 1999, 76, 485-486.
- ²² Welsh M. J. "Chemistry of art and color sudoku puzzles". *J. Chem. Educ.*, 2007, 84, 610-611.
- ²³ Olbris D. J., Herzfeld J. "Depletion: a game with natural rules for teaching reaction rate theory". *J. Chem. Educ.*, 2002, 79, 1232-1234.
- ²⁴ Hanson R. M., Michalek B. "Give them money: the Boltzmann game, a classroom or laboratory activity modeling entropy changes and the distribution of energy in Chemicals systems". *J. Chem. Educ.*, 2006, 83, 581-588.
- ²⁵ Piaget, J. *La formación del símbolo en el niño. Imitación, juego y sueño. Imagen y representación*. Primera edición, Fondo de cultura económica, 1979, 401 p.
- ²⁶ Izquierdo M., Sanmartí N., Espinet M. "Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales". *Enseñanza de las Ciencias*, 1999, 17, 45-59.
-

2. Objetivos

Con base en la pregunta: ¿Cómo es el proceso de construcción del carbono tetraédrico mediante una actividad lúdica por descubrimiento? Se plantean los siguientes:

2.1. Objetivo general

Identificar el proceso de construcción del concepto de carbono tetraédrico y las herramientas conceptuales que usan las y los estudiantes durante su construcción mediante una actividad lúdica por descubrimiento y durante la solución de un problema en el que se aplica dicho concepto.

2.2. Objetivos particulares

- Revisar los programas de Química I y II del CCH de la UNAM para identificar en qué parte del contenido es posible implementar las actividades sobre la construcción de teorías y la construcción del carbono tetraédrico.
- Caracterizar al grupo de clase que inicia en la EMS (CCH-UNAM) en cuanto a su visión sobre la química y su expectativa de la misma al egresar.
- Planear las actividades adecuadas a los contenidos propuestos en los programas de química del CCH mediante actividades lúdicas de construcción.
- Aplicar las actividades planeadas en grupos piloto (para hacer los ajustes y mejoras) y en el grupo definitivo (para la recolección de los resultados y análisis finales).
- Evaluar las actividades planeadas en cuanto a su desarrollo en el salón de clases, interés de las y los estudiantes y otras variables que puedan observarse.

- Identificar las herramientas conceptuales que utilizan las y los estudiantes en la construcción del carbono tetraédrico y en su aplicación a la resolución de un problema y reconocer la manera en la que lo hacen.
- Evaluar de manera semicuantitativa y cualitativa la actividad de la construcción del carbono tetraédrico y su aplicación en la resolución de un problema.

3. Metodología

La idea del trabajo que se plantea a continuación surgió principalmente de tres fuentes que confluyeron en lo que es la construcción del carbono tetraédrico. La primera son las posiciones de estudio del cambio conceptual, de las cuales la social-afectiva es la que menos se ha explorado. Hablando específicamente de la química, su aprendizaje es percibido un tanto agresivo debido a la dificultad que conllevan varios de sus conceptos, pues en muchos de los casos no hay una experiencia cotidiana que de origen a las ideas previas. De allí que se buscara una estrategia que promoviera un mejor acercamiento: el juego.

La segunda fuente son los nuevos materiales didácticos, entre los cuales se encuentra el Proyecto CLIS, cuya parte B (ver **Anexo 2**) se refiere a la elaboración y naturaleza de las teorías y que resulta importante debido, primero, a que los conceptos en química tienen esta naturaleza y, segundo, a que se desarrolla desde el juego.

La tercera fuente es la experiencia durante la práctica docente, en la cual después de revisar un poco sobre las propiedades del carbono y de representar en el pizarrón los hidrocarburos más simples se pedía a las y los estudiantes que mediante modelos comerciales de bolas y postes, los cuales ya tienen las formas predeterminadas, los representarían. Resultaba sorprendente que las y los estudiantes tomaran los planos cuadrados para hacer las representaciones, aun habiéndoles dicho que el carbono no es plano.

Es a partir de las teorías científicas, la representación del carbono y el juego que se desarrolló el trabajo con las siguientes etapas metodológicas:

- Revisión los programas de Química I y II del CCH de la UNAM, que corresponden respectivamente al primero y segundo semestre, para identificar los temas en los que se podían implementar las actividades.
- Planeación de las actividades con base en las fuentes que ya se señalaron anteriormente.

- Caracterización del grupo de estudiantes para saber, entre otras cosas, su edad, su visión sobre la química y sus expectativas sobre la química al egresar de la EMS.
- Al inicio del primer semestre, se llevó a cabo la aplicación de la primera actividad de la cual se evaluó su desarrollo en el salón de clases y la comprensión de la naturaleza de las teorías científicas.
- Durante el segundo semestre, se llevó a cabo la aplicación de la segunda actividad de la cual se evaluó su desarrollo en el salón de clases, la comprensión del carbono tetraédrico y la aplicación en la solución de un problema. En la segunda actividad se realizaron dos pruebas piloto, las cuales sirvieron para hacer más claras las indicaciones del juego en la prueba definitiva, para medir los tiempos y para conocer los resultados previos.

3.1. Primera actividad: La naturaleza de las teorías científicas y la elaboración de teorías

La propuesta que se hace es la de introducir a las y los estudiantes al concepto de las teorías y a la forma en la que se elaboran sin profundizar en ellas. Para esta actividad se eligió una propuesta del proyecto CLIS que tiene la característica de plantearse como un juego. Dicha propuesta se modificó para ajustarla al español (ver **Anexo 2**, inciso **A2.1**).

Esta propuesta se desarrolló durante la apertura del curso de Química I, materia obligatoria del CCH. En el programa no se marca ningún propósito para esta actividad ni una temática, de allí que la propuesta que se hace es que se revise como tema la “teoría científica” y se hace planteando la pregunta: **¿Cómo se elabora una teoría científica?**

Introducir la primera actividad aquí permitió, por un lado, romper el hielo del primer contacto de las y los estudiantes con el nuevo grupo de la EMS e iniciar la integración como compañeras y compañeros y, por otro lado, que reconozcan que la teoría científica es el “pan de cada día” dentro de la química y dar a entender que durante el curso se podrán seguir haciendo teorías en algunos temas. También la introducción del juego en este momento permitió dar un preámbulo de la elaboración y el uso de las teorías en química.

La apertura del curso se encuentra previa a la unidad 1, “Agua, compuesto indispensable”⁽¹⁾ que se cubre en 30 horas de clases. La apertura está planeada para cuatro horas y con ella se pretende integrar al grupo mediante dinámicas y dar las características del curso (ver **Tabla 1.1**).

Obsérvese en la **Tabla 1.1** que en esta parte no hay propuesta alguna sobre temática en química, de allí que se proponga una actividad que cubra tanto la integración del grupo como la naturaleza de las teorías en ciencia.

Tabla 1.1. Aprendizajes, estrategias y temática de la apertura del curso de Química I. (CCH, Programas de estudio de Química I y II)

APRENDIZAJES DEL ALUMNO	ESTRATEGIAS SUGERIDAS	TEMÁTICA	ACTIVIDAD
	Apertura de curso 4 horas		
1. Identifica a sus compañeros de grupo. 2. Características del curso.	<ul style="list-style-type: none"> •Dinámicas grupales de presentación e integración. (A1) •Presentación del programa, precisión de aprendizajes a alcanzar (conceptos, habilidades, actitudes y valores), formas de trabajo y evaluación. (A2) •Evaluación diagnóstica para detectar los preconceptos químicos de los alumnos relacionados con este curso. 		<p>Aplicación de la adaptación de la parte B del proyecto CLIS (Children's Learning in Science) sobre teorías.</p> <p>TEORÍA CIENTÍFICA ¿Cómo se elabora una teoría científica?</p>

La propuesta consiste en utilizar una adaptación de la Parte B del proyecto *CLIS, Approaches to teaching the particulate theory of matter*,⁽²⁾ titulado “La naturaleza de las teorías científicas y la elaboración de teorías” (ver **Anexo 2**, inciso **A2.2**) en la apertura del curso de la materia Química I del CCH.

Con esta actividad se pretende revisar el tema de las teorías científicas que, aunque en los programas de química del CCH no hay contenido alguno que lo cubra, se puede colocar al inicio del curso de Química I. Además, se pretende que las y los estudiantes comprendan la naturaleza de las teorías científicas, es decir, cómo se crea y cómo se acepta. Aunque esta actividad se evaluó sólo cualitativamente, sirvió como base para la siguiente actividad y ayudó a que las y los estudiantes comprendiera la naturaleza de las teorías científicas en cuanto a que:

- Son creaciones humanas para explicar observaciones.
- Son acuerdos a los que llegan las comunidades científicas.
- Son cambiantes y caducan dado que constantemente se obtienen nuevas observaciones y evidencias.

3.2. Segunda actividad: el carbono tetraédrico

Esta actividad se diseñó debido a que las y los estudiantes en sus primeros acercamientos a la química creen que las moléculas son planas. Históricamente esto también sucedió entre los químicos

ya que, como menciona Ramberg,⁽³⁾ la representación sobre papel ha generado la preferencia hacia dos dimensiones en lugar de tres. Además, en la enseñanza de la química se da por entendida la construcción del carbono tetraédrico y se hace poco énfasis en la construcción de estructuras tridimensionales.

Esta actividad hace una introducción a la tridimensionalidad de la materia y permite mostrar, aunque no es el objetivo, cómo piensan los químicos o lo que se ha llamado “intuición química”. La actividad se puede colocar al inicio de la unidad 2, “Alimentos, proveedores de sustancias esenciales para la vida”⁽¹⁾ dentro del Programa de Química II, donde se ven compuestos orgánicos. Con esta actividad se pretende que las y los estudiantes comprendan que:

- La materia es tridimensional.
- Las propiedades de la materia también dependen de su distribución (configuración) espacial.
- El carbono tetraédrico es un modelo de la química que está sólidamente basado en las evidencias experimentales.

La segunda actividad está conformada de tres partes, un cuestionario previo a la actividad del carbono tetraédrico, el desarrollo de la actividad y un cuestionario posterior al carbono tetraédrico. Antes de la aplicación de la prueba definitiva, se hicieron algunas pruebas piloto en otros grupos, cuyos resultados se pueden observar en los **Anexos 6 y 7**. A partir de estos resultados se mejoró tanto la forma de las instrucciones como las explicaciones con las que se aclaraban las dudas que tenían las y los estudiantes durante el desarrollo de cada una de las actividades. Por otro lado, estas pruebas piloto también sirvieron para hacer la categorización de los resultados y poder hacer un análisis semicuantitativo.

3.2.1. El cuestionario previo a la actividad del carbono tetraédrico

Consistió en el planteamiento de dos problemas sobre la tridimensionalidad del carbono, con los cuales se pretendía conocer los conceptos que las y los estudiantes utilizan para resolverlos y las representaciones que empleaban antes de realizar la actividad del carbono tetraédrico, por lo que el análisis se llevó a cabo sobre las explicaciones dadas en la solución de los problemas que implican el uso de la tridimensionalidad de la materia. El planteamiento de los problemas es el siguiente:

- **Problema 1.** En el compuesto químico de fórmula CHFCIBr , el hidrógeno, el flúor, el cloro y el bromo están unidos al carbono. ¿Cómo crees que están acomodados cada uno de los átomos

en la molécula? Haz un dibujo de cómo crees que es la molécula y explica por qué la has dibujado de esa manera. ¿Se podrían acomodar los átomos del compuesto mencionado de otra manera? Explica por qué y dibuja si es necesario.

- **Problema 2.** La fórmula química del etano es C_2H_6 . ¿Cómo crees que están acomodados cada uno de los átomos en la molécula? Haz un dibujo de cómo crees que es la molécula y explica por qué la has dibujado de esa manera.

3.2.2. La actividad del carbono tetraédrico

Para llevar a cabo la actividad se organiza al grupo de clase en equipos de 4 ó 5 personas. La actividad consiste en indagar la forma tridimensional de una figura formada de bolas de plastilina de colores (una negra, cuatro grises y dos rojas) y palillos (los necesarios) mediante pistas que se van dando en un orden sistemático y llevando un registro en papel del proceso. Se inicia animando a las y los estudiantes a formar figuras con ciertas reglas. Las indicaciones de la actividad se encuentran en el **Anexo 4**. La explicación de cada una de las indicaciones se presenta a continuación:

- Discutir las ideas únicamente dentro del equipo de trabajo.

Con esta primera indicación se pretendía evitar la interacción temprana con los otros equipos para que la discusión se diera principalmente dentro del equipo.

- Cada estudiante tendrá 7 bolas de plastilina: una negra, cuatro grises y dos rojas.

Con esta indicación se entregaron las bolas de plastilina y se aseguró que a nadie le faltara ninguna. Además, junto con la plastilina y los palillos se les entregó una hoja de papel en la que podrían hacer las anotaciones solicitadas en las indicaciones posteriores.

- **Pista 1.** Se sabe que el carbono (bola negra) siempre se une con cuatro hidrógenos (bolas grises) para formar una molécula. Forma una figura con la bola negra y las cuatro grises unidas por los extremos de los palillos. Observa las figuras que forman tus compañeros de equipo. Dibuja en la hoja de papel la figura que has formado.

Al seguir la primera pista se esperaba que aparecieran muchas formas de unir las bolas de plastilina a través de los palillos, aunque por los antecedentes de sus cursos de química era de esperarse que predominaran algunas sobre otras, más aún si se hablaba de carbono e hidrógeno.

- **Pista 2.** De la pista anterior, se sabe que al cambiar un hidrógeno (bola gris) por un cloro (bola roja) sólo se obtiene un producto^(a), es decir, resulta indistinto cambiar cualquiera de los hidrógenos por el cloro. ¿Tu figura cumple con esta pista? De no ser así, vuelve a hacer una figura que cumpla con este requisito. Observa las figuras formadas por tus compañeros y discute con ellos al respecto. Dibuja en la hoja de papel la figura que has formado.

Durante este punto era necesario estar muy atento a las dudas de las y los estudiantes, incluso era necesario acercarse al equipo y explicarle qué es lo que quería decir la instrucción. Es más, la explicación era que si alguien cambiaba una bola gris por una roja sin que ellos vieran cual, había una figura en la que no sabrían cuál había cambiado. Al final, con esta pista se esperaba que las formas de unir las bolas fueran predominantemente figuras planas cuadradas, ya que es la más sencilla que cumple con las condiciones planteadas.

- **Pista 3.** De la pista anterior, se sabe que al cambiar otro hidrógeno (bola gris) por otro cloro (bola roja) sólo se obtiene un producto, es decir, es indistinto cambiar cualquiera de los hidrógenos restantes. ¿Tu figura cumple con este requisito? De no ser así, vuelve a hacer una figura que cumpla con este requisito. Observa las figuras formadas por tus compañeros y discute con ellos al respecto. Dibuja en la hoja de papel la figura que has formado.

Sin duda, esta pista era la que se esperaba que costara más trabajo, ya que es en donde se introducen las tres dimensiones para alcanzar la respuesta que se quería. En este punto también era necesario estar atento a las dudas de las y los estudiantes. La explicación de lo que se quería era la misma que con la pista anterior, sólo que se esperaba que las formas de unir las bolas fueran predominantemente tetraedros, ya que es la única figura geométrica que cumple con las condiciones anteriores.

- Discute con tus compañeros de equipo por qué llegaron a esa figura.

En este punto se quería que las y los estudiantes reflexionaran sobre por qué en el equipo llegaron a esa figura y de cómo las pistas los fueron guiando. Además, esta discusión permitiría que exploraran si existía alguna otra figura que cumpliera con las tres pistas descritas y se convenciera de que no lo hay.

- Comparemos ahora con los otros equipos.

Al llegar a este punto se haría una breve discusión en grupo sobre cómo fue que al final todos los equipos llegaron a la misma figura, cómo es que pasaron de una figura plana (dos dimensiones,

^a En la primera prueba piloto, se había manejado la palabra figura, pero causaba confusión ya que se mezclaba términos químicos con términos geométricos, por lo que se tenía que explicar a las y los estudiantes que se trataba del producto de una reacción. De allí que se optó en las pruebas posteriores manejar la palabra producto y explicar a qué se refería cuando era necesario.

conceptualmente más sencilla) a una figura con tres dimensiones (conceptualmente más complicada) y cómo les ayudó trabajar en equipo.

3.2.3. El cuestionario posterior a la actividad del carbono tetraédrico

Consistió en el planteamiento de los mismos problemas del cuestionario previo a la actividad del carbono tetraédrico. Sin embargo, al aplicarlo posteriormente se analizaron las respuestas relativas a las y los estudiantes utilizan lo generado durante la actividad del carbono tetraédrico, es decir, las nuevas explicaciones, conceptos y herramientas para resolver los problemas.

3.3. Referencias del capítulo

-
- ¹ Programa de estudio de Química I y Química II. CCH-UNAM.
 - ² “The Nature of Scientific Theory and Theory Making.” *Children’s Learning in Science Project. Approaches to teaching the particulate theory of matter*. Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1987.
 - ³ Ramberg P. J. “Pragmatism, belief, and reduction. Stereoformulas and atomic models in early stereochemistry.” *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2000, 6, 35-61.

Resultados

4. Caracterización del grupo de prueba

4.1. El plantel

El trabajo se desarrolló en el Plantel Sur del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que se ubica en el Pedregal de San Ángel al sur del Distrito Federal, dentro de la Delegación Coyoacán, cuyo diseño arquitectónico se ha adaptado al terreno de piedra volcánica, lleno de vegetación, con desniveles que se han aprovechado para construir edificios conectados por corredores. Se cuenta con una amplia biblioteca, varias canchas deportivas, salas de audiovisual, un jardín del arte para exposiciones y dos explanadas.⁽¹⁾

Además, el plantel tiene de característico que en su mayoría asisten estudiantes de la zona sur de la ciudad de México y área conurbana y es el más grande de su género. Debido a su cercanía con Ciudad Universitaria, y en este caso con la Facultad de Química, se presta mucho a realizar pruebas del tipo presentado en este trabajo.

4.2. El grupo de prueba

El grupo fue el 32 sección A (de primer ingreso) conformado de 26 estudiantes (18 mujeres y 8 hombres) y con el que se trabajó durante dos semestres consecutivos. El horario de clase del grupo era martes y jueves de 7 a 9 horas y viernes de 8 a 9 horas. La elección de este grupo se debió a que la práctica docente se llevó a cabo con la maestra Leonor Pinelo Baqueriza profesora titular de Química I y II del mismo grupo.

Antes de iniciar el trabajo con las y los estudiantes y en la primera semana de clases, se aplicó un cuestionario (ver **Anexo 1**) que permitió conocer sus experiencias en los cursos anteriores de secundaria (reactivos 1 y 2), su experiencia con la química (reactivos 3 y 7), su perspectiva sobre la química (reactivos 4, 5 y 6) y sus expectativas al egresar de la Educación Media Superior (reactivos 8, 9 y 10).

El cuestionario arrojó que se trata de un grupo cuya edad promedio es de $15,37 \pm 0,88$ años con los siguientes resultados:

Reactivo 1. Cuando se les preguntó abiertamente cuáles materias son las que más les han gustado resultan: matemáticas (26 %), química (24 %), historia (12 %), biología (9 %), inglés (6 %), literatura (6 %) y artística (6 %) y argumentaron que se debe a que la o el docente enseña bien (29 %), le interesa (29 %), le gusta (15 %), se le facilita (12%) y la entiende (6 %). Es notable que las matemáticas y la química encabecen la lista, sin embargo, la explicación está en la respuesta al por qué, ya que explican que la o el docente enseña bien y por lo tanto se refleja que aún están en un estadio cognoscitivo heterónomo y por otro lado, como explican algunos autores⁽²⁾ en el caso de la química, debido a los experimentos en los que hay mezclas y colores.

Reactivo 2. Cuando se les preguntó cuáles materias⁽³⁾ son las que más les han gustado resultó: artística, deportes, química, idiomas, biología, matemáticas y literatura. Mientras que las que menos les gustan son informática, física, sociales, geografía e historia. Al preguntar oralmente por qué les gustaban más artística y los deportes se dejaron escuchar respuestas como: “Me libero”, “Me relaja”, “Nos podemos mover”, “Estamos al aire libre”, “No estamos sentados”, “Es lo que nos gusta practicar”. En cambio al preguntar por qué la informática es la materia que menos les gusta se encontraron respuestas como: “Nos tratan como tontos”, “No nos enseñan cosas que nos sirvan”. Las respuestas de este punto resultaron atractivas, dado que con las actividades planeadas esperábamos que, aunque no es una actividad al aire libre, al menos diera cierta libertad y un momento de recreo, al mismo tiempo les hiciera ver la importancia y la aplicación de los temas involucrados.

Reactivo 3. Al preguntarles si les gusta la química, el 88 % de los estudiantes contestan que sí porque es interesante (38 %), porque se les facilita (21 %), por los experimentos (12 %), por aplicable (8 %) y porque la o el docente enseña bien (4 %). Al contrario, los que responden que no les gusta (12 %) es porque se les dificulta (8 %) o no les interesa (4 %). Aunque la respuesta que encabeza la lista es que les gusta la química porque es interesante, la respuesta a por qué es interesante fue “por los experimentos”. Esa es la razón que hace atractiva la química ante los ojos de las y los estudiantes.

Reactivo 4. Respecto a por qué se estudia química en la secundaria y el bachillerato argumentan que porque se usa en la vida diaria (39 %), es base para seguir estudiando (30 %), para saber más (17 %) y está en los programas (13 %), es decir, no saben específicamente por qué se estudia química, tal como ha apuntado Herron:⁽⁴⁾ si está allí, hay que estudiarla. Sin embargo, no es

suficiente que las y los estudiantes aprendan química, sino que además sepan por qué están aprendiendo esos temas “supuestamente” importantes de la química. Herron menciona que dos respuestas muy comunes en las y los estudiantes son: “porque esos puntos vendrán en el examen” y “porque son parte de la química”.

Reactivo 5. Al preguntarles sobre su experiencia con la química, la identifican como una materia interesante (30 %), útil (10 %) e importante (8 %) pero al mismo tiempo difícil (18 %) y divertida (5 %), identificación que en gran medida depende, como se dijo anteriormente, de cómo han percibido el desempeño de la o del docente (aspecto social social-afectivo).⁽⁵⁾ Es más, al cruzar los resultados con los del reactivo 3, las y los estudiantes que mencionan que es difícil es a quienes no les gusta.

Reactivo 6. Identifican la dificultad de la química con los aspectos de memorización (tabla periódica, química orgánica, elementos químicos, nomenclatura y propiedades químicas, 39 %), aspectos matemáticos (balanceo de ecuaciones, 25 %) y aspectos del lenguaje (fórmulas y nomenclatura, 18 %) y muy poco en los aspectos de comprensión (mol, enlace químico, concentraciones y neutralización, 14 %) que varios autores señalan que es de importancia enseñar y mencionan las dificultades que estos conllevan.^(2,6,7,8) En los resultados de este reactivo se observa que la mayoría de las y los estudiantes cuentan con los conceptos previos sobre el lenguaje y representación en la química, aunque la relacionan con lo que más se les ha dificultado. Por otro lado, conocer estas respuestas es de vital importancia, ya que las actividades planeadas requieren que las y los estudiantes sepan a qué se está refiriendo cuando se habla de química orgánica, elemento químico, fórmula y que en algún momento puedan relacionar la estructura tridimensional de la materia con sus propiedades químicas. Además, estos resultados apoyan que la propuesta de las actividades planeadas tenga un aspecto de comprensión más que memorización, aunque como menciona Hoffmann⁽⁹⁾ la representación estructural de las moléculas es parte del lenguaje de la química e indiscutiblemente hay partes que se deben memorizar pero hay otras que como ciudadanas o ciudadanos al menos se debe comprender a qué se refieren y que permitan reconocer su importancia en la sociedad y el medio ambiente.

Reactivo 7. Creen que la química sería más agradable como materia si fuera más práctica (más experimentos y aplicaciones para hacerla más interesante, 46 %), menos teórica (para hacerla más fácil, 4 %), con más actividades (juegos y recreación para hacerla más dinámica, 18 %) y teniendo una buena o un buen docente (que explique y aclare, 32 %). Duit⁽⁵⁾ menciona que en el aspecto social-

afectivo debe haber una motivación que involucre ambientes social y grupal para el aprendizaje, y que el control de la autoeficacia y creencias de las y los estudiantes, el ambiente social del aula, las metas individuales, las intenciones, los propósitos, las expectativas y las necesidades son tan importante como las estrategias cognoscitivas en el aprendizaje conceptual. He aquí la importancia de las respuestas de este reactivo: reconocer las expectativas y las necesidades de las y los estudiantes, esperando que las actividades planeadas sean un momento de recreación para ellas y ellos.

Reactivo 8. La información que dan las respuestas a este reactivo es que el 70 % de las y los estudiantes dice que después de terminar de estudiar el bachillerato van a seguir estudiando y las razones son: para tener una carrera, ser mejores, por gusto, tener un buen trabajo y ayudar a la gente. El 17 % dice que van a estudiar y trabajar y el 13 % dice que no sabe qué va a hacer. Las respuestas a este reactivo muestran que las y los estudiantes tienen internalizada la linealidad en la educación, es decir, que después de un nivel educativo forzosamente sigue otro. Cary⁽¹⁰⁾ incluso plantea que las y los docentes de química creen que las y los estudiantes que sobresalen en su clase van a estudiar alguna carrera de química o, en el mejor de los casos, a seguir estudiando, cuando no es así. Con el **reactivo 9**, aunque es una pregunta abierta y quizá ambigua, muy a propósito, se refuerza lo observado en el reactivo 8: que las y los estudiantes piensan que después del bachillerato sigue estudiar en el nivel superior cuando en realidad hay otras opciones a tomar.

Reactivo 10. Finalmente, aunque la mayoría de las y los estudiantes expresa que la química les va a ser útil en su vida no expresan de qué manera, y quienes lo hacen lo relacionan sólo con la carrera que estudien. Como menciona Kempa,⁽¹¹⁾ en la EMS se encuentra el último curso de educación química para muchas y muchos estudiantes y, por tanto, se espera que desarrollen la apreciación crítica de las implicaciones científicas, sociales, económicas, ambientales y culturales que ofrece la química dentro de sus propios conocimientos, principios y modelos.

La importancia de los resultados de los tres últimos reactivos en las actividades propuestas, es que les permitan ser ciudadanas y ciudadanos que comprendan los problemas de la sociedad y que participen y den soluciones viables como individuos desde el panorama de la química y no por las creencias producto de la ignorancia. ¡Y qué mejor que llevándose un buen sabor de boca de sus últimos cursos de química!

4.3. Referencias del capítulo

- ¹ Hernández González J. “Construir una identidad. Vida juvenil y estudio en el CCH Sur.” *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 2006, 11(29), 459-481.
- ² De Vos W., Verdonk A. H. “A new road to reactions. Part I.” *J. Chem. Educ.*, 1985, 62(3), 238-240. “A new road to reactions. Part 2.” *J. Chem. Educ.*, 1985, 62(8), 648-649. “A new road to reactions. Part 3. Teaching the heat effect of reactions.” *J. Chem. Educ.*, 1986, 63(11), 972-974. “A new road to reactions. Part 4. The substance and its molecules.” *J. Chem. Educ.*, 1987, 64(08), 692-694. “A new road to reactions. Part 5: The elements and its atoms.” *J. Chem. Educ.*, 1987, 64(12), 1010-1013.
- ³ Dado que la UNAM tiene un programa de estudios de iniciación universitaria se decidió tomar las materias como base por considerarse que son equivalentes a las del programa de la SEP. El programa de estudios de iniciación universitaria se puede consultar en <http://dgenp.unam.mx>.
- ⁴ Herron J. D. “Establishing a need to know.” *J. Chem. Educ.*, 1978, 55(3), 190-191.
- ⁵ Duit R., Treagust D. F. “Conceptual change - A powerful framework for improving science teaching and learning.” *Int. J. Sci. Educ.*, 2003, 25(6), 671-688.
- ⁶ Kind V. *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de la química*. Primera edición en español, Aula XXI/Santillana, México, 2004, 157 p.
- ⁷ *Children’s Learning in Science Project. Approaches to teaching the particulate theory of matter*. Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1987.
- ⁸ Furió C., Azcona R., Guisasola J. “Dificultades conceptuales y epistemológicas del profesorado en la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol.” *Enseñanza de las ciencias*, 1999, 17(3), 359-376. “Enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada.” *Enseñanza de las ciencias*, 2006, 24(1), 43-58.
- ⁹ Hoffmann, R. *Lo mismo y no lo mismo*. Fondo de Cultura Económica. México, 1997, pp. 77-79.
- ¹⁰ Cary W. R.. “State of art in the high school curriculum.” *J. Chem. Educ.*, 1984, 61(10), 856-857.
- ¹¹ Kempa R. F. “New Perspectives in Chemistry Education,” Conferencia presentada en la 7th International Conference on Chemical Education, Montpellier, France, August, 1983. (Citado por Cary, 1984)

5. La naturaleza de las teorías científicas y la elaboración de teorías

“Una nueva verdad científica no triunfa convenciendo a sus oponentes y haciendo que puedan ver la luz, sino más bien por el hecho de que sus oponentes mueren y una nueva generación crece hasta que esté familiarizada con ella.”

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947)

5.1. El juego “descubriendo la regla”

Como menciona el proyecto CLIS, para captar la atención del grupo se llevó a cabo el juego “descubriendo la regla”, pero se hizo utilizando una adaptación al lenguaje y las características de nuestro idioma (ver **Anexo 2**, inciso **A2.2**). Esta actividad se realizó en la segunda sesión de clases y, dado que eran estudiantes de primer ingreso, esta actividad también permitió romper el hielo y familiarizarse con los nombres de sus compañeras y compañeros.

La primera ronda fue definitiva, ya que durante ésta se fue acumulando la información necesaria para que las y los estudiantes descubrieran la regla. De hecho, de las y los primeros ocho estudiantes que dijeron lo que llevarían, sólo una había acertado y al final de la primera ronda sólo 12 de las y los 24 estudiantes participantes acertaron en lo que llevarían a la fiesta. Por otro lado, la segunda ronda les permitió corroborar su suposición, por lo que en la segunda ronda 19 de las y los 24 estudiantes acertaron en lo que llevarían a la fiesta, de allí el argumento de Gustavo de que “hubo muy pocos en que tuvieron las dos cosas bien y en su mayoría nada más de una o ninguna”, es decir, que descubrieron la regla por prueba y error y sistematizando los datos, como argumenta Andrea. Quienes finalmente no descubrieron la regla, que son los menos, fueron cinco de las y los 24 estudiantes participantes, sin embargo, no convenía seguir con una tercera ronda, debido a que este momento comenzaba a perderse el interés de quienes ya la habían descubierto.

Estamos convencidos que el hecho de descubrir una regla en un juego, no necesariamente hace que la o el estudiante entienda qué es una teoría, y menos aún, qué es una teoría científica, sin embargo, es una primera aproximación a la naturaleza de éstas.

Algunos de los comentarios de las y los estudiantes transcritos sin edición, son los siguientes:

Fernanda: “Me di cuenta porque fui observando que el objeto que iban a llevar a la ‘fiesta’ comenzaba con la inicial de nuestro nombre.”

Gustavo: “Bueno, el juego me pareció un poco entretenido porque para ir a la fiesta había que llevar algo con la letra que empezaba tu nombre, algunos dijeron cosas graciosas y otras poco usuales como medicamentos, hubo muy pocos en que tuvieron las dos cosas bien y en su mayoría nada más de una o ninguna.”

Andrea: “Empecé por separar los que sí iban y los que no; a primera vista no encontré similitud en ellos hasta que, viendo todos los datos, me di cuenta que era con la primera letra de nuestro nombre.”

Montserrat: “Yo descubrí el patrón del juego cuando las personas que pasaban antes que yo decían cosas y les ponían que no iban y después pensé porqué y la chava al lado de mí dijo: ‘es que hay un patrón’ y vi el nombre del profesor con lo que iba a llevar y vi que comenzaba con la misma letra y le entendí.”

Adriana: “Al principio del juego me costó comprender de qué se trataba pero desde que uno de mis compañeros dijo su nombre y de lo que iba a llevar, la palabra empezaba con la inicial de su nombre me di cuenta que teníamos que seguir un patrón y aunque dijimos cualquier cosa era divertido.”

José Luis: “No encontré el patrón en el juego y no sabía la finalidad de éste hasta que lo dijeron, tampoco sabía por qué se decían cosas que no tenían que ver con la fiesta.”

5.1.1. Conclusión del juego “descubriendo la regla”

Como se puede apreciar en los comentarios, se captó la atención de las y los estudiantes y desde el inicio intentaron encontrar el patrón del juego, sin embargo, al ser un grupo numeroso, al término de la segunda ronda comenzó a perderse la atención, en especial en aquellas y aquellos estudiantes que ya habían descubierto la regla, por lo que se sugiere cortarlo de acuerdo a la reacción que vayan teniendo, y tal como menciona el proyecto CLIS no es apropiado en esta fase involucrarse en un análisis largo del juego con las y los estudiantes: seguir directamente con el misterio del asesinato. Pero la actividad ha logrado su cometido: ser el preámbulo de las teorías científicas y su naturaleza.

5.2. El juego “el misterio del asesinato”

Una vez que terminó el juego anterior, se comentó que en varias ocasiones no basta descubrir un patrón, sino que es necesario plantear una hipótesis y en seguida se preguntó qué es una hipótesis. Había quienes tienen la idea de que es una suposición para explicar algo. Entonces se dejó la pregunta al aire: “¿Cómo se hace una hipótesis para explicar un evento?” y en seguida se entró al juego del misterio del asesinato.

5.2.1. Desarrollo de la actividad

El grupo se organizó en seis equipos y a cada uno se le entregó un juego de tarjetas con las pistas descritas en el **Anexo 2, inciso A2.2.2**. Se les pidió que trabajaran en equipo para resolver el misterio del asesinato y que la única regla era que no compartieran sus ideas con los otros equipos. La solución del misterio del asesinato se haría con base en las seis preguntas siguientes, las cuales se escribieron en el pizarrón:

- ¿Quién fue el asesinado?
- ¿Quién fue el asesino?
- ¿Cuál fue el arma?
- ¿Dónde tomó lugar el asesinato?
- ¿En qué momento ocurrió el asesinato?
- ¿Cuál fue el motivo?

Algunos de los equipos no sabían qué hacer con las tarjetas y tardaron algunos segundos en comenzar a revisarlas. Hubo otros equipos que en seguida comenzaron a revisarlas y a acomodarlas sobre la mesa. De manera general, la discusión dentro de los equipos inició al ir leyendo las tarjetas y, a escasos dos minutos, aún sin acabar de leer las tarjetas comenzaron a hacer algunas suposiciones sencillas.

Dado que el primer equipo que obtuvo una solución al misterio del asesinato lo hizo a los siete minutos, se les pidió que, mientras los otros equipos terminaban, escribieran su experiencia con el juego y que explicaran qué hicieron para resolverlo. A los 25 minutos sólo tres equipos habían hallado una solución por lo que la actividad se detuvo a los 40 minutos para evitar que los primeros equipos perdieran la atención.

El tiempo restante, aproximadamente 15 minutos, se dedicó a comentar cómo es que lograron resolver el problema. Las ideas generales son: utilizaron las preguntas planteadas y las pistas, las cuales organizaron cronológicamente o con relación al arma, surgieron varias ideas pero tomaron las más lógicas, probaron hasta que su hipótesis concordara con todas las pistas y llegaron a un acuerdo en el equipo.

Para terminar la revisión de ideas, se redondeó haciendo un resumen de cómo se hace una teoría, utilizando las ideas que las y los estudiantes habían sugerido, que en su momento se habían escrito en el pizarrón, pero aclarando que no son más que invenciones humanas y que muchas veces se tiene que llegar a un acuerdo. En seguida, se leyeron las soluciones que cada equipo había logrado y que en general es la misma a la sugerida por el proyecto CLIS. Finalmente, se les preguntó qué habría pasado si se les hubiera dado una pista más, si habría sido la misma solución que encontraron, a lo que respondieron que no, que habría sido posiblemente otra.

Los comentarios de las y los estudiantes por equipo transcritos sin edición, son los siguientes:

Equipo 1: “Descubrimos el misterio porque todos aportamos ideas las cuales podrían ser una posible solución. Poco a poco nos fuimos poniendo de acuerdo y dimos orden a las tarjetas de cuerdo a los hechos y a la hora, las preguntas nos fueron guiando. Llegamos a la solución porque todos concordamos con los hechos.”

Equipo 2: “Fue difícil llegar a una sola historia porque las pistas que había nos llevaban a pensar cosas distintas, pero comenzamos a ponerle atención a las pistas más importantes y éstas nos daban datos que pudimos ir uniendo hasta llegar a una sola historia que concordaba con las pistas.”

Equipo 3: “Pues todo comenzó porque era muy lógico ‘según’ pero tuvimos muchas historias pero empezamos a hacer una línea del tiempo con las horas y así... luego fue todo muy concreto al darnos una posible respuesta ‘era lo mismo’.” “Hicimos una línea de acuerdo al tiempo que ocurrieron, al formar la historia que coincidía un poco, después fuimos uniendo las pistas que sobraban hasta formar una historia que sí tenía sentido y que estábamos de acuerdo.”

Equipo 4: “Este juego me gustó mucho porque nos hace pensar, ser atentos y uniendo hechos se resuelve el caso. Lo descubrimos usando nuestra habilidad de razonamiento y concluimos que el asesino fue definitivamente el Sr. González.”

Equipo 5: “Llegamos a esta conclusión de la historia porque reunimos todas las pistas que había en las fichas, al descartar a sospechosos empezamos a armar varias hipótesis donde acordamos cómo,

cuándo, dónde, quién y con qué había ocurrido tal asesinato. Hasta que llegamos a una definitiva donde más o menos era lo indicado.”

Equipo 6: “Pudimos resolver el ‘misterio’ fácil y agradablemente ya que todas las del equipo aportábamos ideas y todas escuchábamos, así, juntamos ideas que se acercaban más al caso, de acuerdo a las pistas.” “Se llegó a esa conclusión por las pistas que se presentaban, las cuales se organizaron de forma que todas las que tuvieran relación con el arma estuvieran juntas y en orden cronológico.”

5.2.2. Conclusión del juego “el misterio del asesinato”

Por lo que se aprecia en el desarrollo de la actividad y en los comentarios de las y los estudiantes, intuitivamente siguen un proceso para la solución del problema: parten de la organización de la información, la utilizan para dar una posible solución, si los convence la utilizan, si no, la reorganizan para dar otra posible solución; otras veces para dar una solución no utilizan toda la información y la información que no habían integrado permite ir modificando la solución. Finalmente, lo interesante de esta actividad es que las y los estudiantes logran explicar cómo es que llevaron a cabo dicho proceso y que tienen claro que no existe una única solución. Si se les dieran más pistas, es muy probable que su solución se modificara, tal como menciona Turro:⁽¹⁾ “Los fenómenos (hechos o eventos) en el mundo alrededor de nosotros generan un conjunto de creencias. El proceso intelectual envuelve la preservación, el rearreglo o la modificación de estas creencias.”

También algo muy importante es que la mayoría de las y los estudiantes se involucra con entusiasmo en las actividades, sin embargo, como ya se ha mencionado no se debe detener mucho en cada actividad y mucho menos en los análisis a profundidad para evitar perder la atención.

5.3. Referencias del capítulo

¹ Turro N. J. “Geometric and topological thinking in organic chemistry”, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 1986, 25, 882-901.

6. El carbono tetraédrico

“El ‘presentimiento’ de sucesos, la realidad que no está indicada por ninguna ley que los exprese en palabras, ha mostrado resultados sorprendentes: aquí el pensamiento es ayudado por algo que, mientras tanto, podríamos llamar ‘sentimiento químico’, un nombre que desaparecerá tan pronto como la aproximación progresiva de la química a la base físico matemática dé a conocer su significado y se encargue de tabularlo entre los métodos que den lugar al reconocimiento del nuevo nombre.”

Viktor Meyer (1848 – 1897)

Con los resultados de la primera y de la segunda prueba piloto (Anexos 6 y 7) se estandarizó la prueba definitiva tanto en los tiempos para llevar a cabo toda la actividad como en la manera más conveniente de explicar cada una de las indicaciones cuando no eran fácilmente comprensibles y la forma en la que podían comprobar que las estaban llevando a cabo de la manera adecuada. La prueba definitiva se aplicó al grupo que se caracterizó y que había realizado la actividad La naturaleza de las teorías científicas.

Como ya se mencionó en el capítulo 4, el grupo estaba conformado de 26 estudiantes (18 mujeres y 8 hombres), sin embargo, quienes que participaron durante toda la actividad de El Carbono Tetraédrico fueron sólo 22 (7 hombres y 15 mujeres). Al momento de realizar esta actividad del carbono tetraédrico, la edad promedio del grupo era $15,95 \pm 0,88$ años, es decir, se aplicó siete meses después de realizada la primera actividad, con lo cual era muy probable que no hubiera efecto significativo.

Al igual que con la segunda prueba piloto, se aplicó el cuestionario antes de la actividad (el mismo día) y después de la actividad (una semana después) utilizando los tiempos de resolución definidos y la información que surgió previamente. También, antes de iniciar cada actividad, se les explicó a las y los estudiantes en qué consistía y con qué fines se hacía, así como que la información que proporcionarían no afectaría su calificación ni se usaría para otros fines.

6.1. Cuestionario previo a la actividad

Se dieron 20 minutos para la resolución individual del cuestionario previo a la actividad.

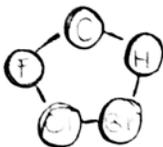
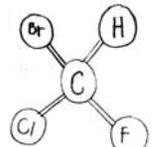
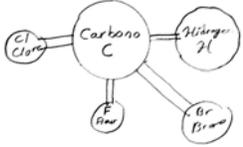
Problema 1. Al igual que en la prueba previa lo resuelven explicando por qué están unidos los átomos o qué los mantiene unidos, pero dejan de lado el acomodo espacial. También hablan de que el carbono debe cumplir con la regla del octeto y con los cuatro enlaces, es decir, creen que el fin del comportamiento es alcanzar el modelo y no a la inversa (principio intuitivo teleológico)⁽¹⁾.

En la resolución de este problema, por un lado, hay quienes no creen que sea posible acomodar los elementos de otra manera a la que sugieren ya que, como menciona Adriana, implicaría que el H, el F, el Cl y el Br ya no estarían unidos directamente al carbono y “se perderían los enlaces” o, como menciona Lydia, “a menos que giren únicamente los elementos unidos al carbón”. Aunque surgen estas dos ideas muy importantes no alcanzan a divisar otras formas de acomodo, ya no se diga tridimensionales, sino planas. Por otro lado, hay quienes sí creen que es posible acomodar los elementos de otra manera y utilizan las mismas ideas de quienes que no lo creen, como lo hace Eva, cambiando el orden de los elementos y, como menciona Liliana, “mientras no estén unidos elementos diferentes”, refiriéndose a que el H, el F, el Cl y el Br tienen que estar unidos al carbono. En total, de 22 estudiantes, 6 creen que es posible acomodarlos de otra manera y 6 no lo creen posible. Las y los demás simplemente no hacen comentario alguno al respecto.

Hay tres casos especiales que vale la pena mencionar. Fernanda Jireh está entre quienes creen que sí es posible acomodar los elementos de otra manera, así que su primera propuesta es una representación plana cuadrada mientras que su segunda propuesta es una pirámide cuadrada, es decir, intuye que pueden acomodarse en una disposición tridimensional, aunque no argumenta porqué, adelantándose con ello a sus compañeras y compañeros en este tipo de representaciones. Los otros dos casos especiales son contrarios al anterior. Lydia y Susana argumentan que el compuesto no es plano pero su representación lo es y que, como menciona Susana, los círculos que dibujaron “son como canicas”, lo que querría decir que imaginan los átomos en tres dimensiones pero no así la estructura de la molécula, de allí que sus representaciones sigan siendo planas, algo que, como comenta Ramberg,⁽²⁾ los químicos del siglo XIX también creían.

Un comentario final sobre la resolución de este problema es que se cree que el enlace es intrínseco del átomo aislado y, como menciona José Luis, el carbono “por sus cuatro enlaces le permite hospedar a cada elemento en cada enlace”, cuando convencionalmente el concepto de enlace se define como la interacción entre dos de ellos. En la **Tabla 6.1**, se muestran los tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución del problema 1.

Tabla 6.1. Tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución del problema 1 del cuestionario previo a la actividad.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (4,5 %)	Plano cuadrado (90,9 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (4,5 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (0 %)
			

Algunos de los comentarios que hicieron las y los estudiantes son:

Asimétrica tridimensional

José Luis: “La propiedad del carbono de juntarse con cuatro elementos por sus cuatro enlaces le permite hospedar a cada elemento en cada enlace.”

Simétrica no cuadrada

Miguel: “Yo creo que ambos están unidos entre sí porque se unieron y si estuvieran en fila o hilera a lo mejor se podrían desunir. O a lo mejor, pero no creo que se pudieran acomodar de otra forma porque habrá algunos que no se junten con los otros.”

Plano cuadrado

Fernanda Jireh: “La dibujé así ya que los elementos que se mencionan están unidos al carbono de una manera que yo imagino podría ser la correcta, ya que de distintas partes de la molécula salen los distintos átomos. Otra manera podría ser así.”

Adriana: “El carbono se encuentra en el centro y los demás elementos están alrededor de éste para que tenga una mayor estabilidad el compuesto, unidos por su enlace químico. No podrían acomodarse de otra manera porque si los elementos se colocan aislados del carbono se perderían los enlaces y no tendría estabilidad. Un ejemplo de esto es Cl-H-C-Br-F.”

Eva: “Porque el número de oxidación del carbono es 4+ por lo tanto cada uno de los otros elementos se une a éste para completar la regla del octeto tanto del carbono como el de ellos, compartiendo los electrones. Quizá sí se puedan acomodar de otra manera para los elementos H, Cl, F y Br.”

Alejandro: “Porque comparten electrones.”

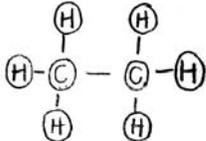
Liliana: “Porque ningún elemento puede ir junto ya que estos son diferentes. Sí se podría acomodar de otra manera mientras no estén unidos elementos diferentes.”

Lydia: “Porque dice que cada átomo está unido al carbono y de esta manera están unidos, y los otros no se repelen por sus cargas, pues los acomodé de modo + -. No es plano. Y no creo que se pueda dibujar de otra manera, a menos que giren únicamente los elementos unidos al carbón, aunque es lo mismo.”

Susana: “Porque en el problema dice que están unidos todos al carbono. Creo que lo único que podría cambiar en la molécula es que giraron hacia uno u otro lado. La molécula me imagino que es tridimensional, que los circulitos que dibujé son como canicas, pero cada una de diferente tamaño.”

Problema 2. Al igual que en el problema 1 y en la prueba piloto, la solución que dan es explicando por qué están unidos los átomos o qué los mantiene unidos, sin embargo, este grupo sí intenta explicar el acomodo espacial aunque en dos dimensiones. Lo sorprendente en estos resultados es que intentan dar una respuesta que se basa en la simetría de la representación, en palabras de ellas y ellos, el balance es lo que le da estabilidad a la molécula e intuitivamente sugieren que los hidrógenos deben estar acomodados lo más alejados posible unos de otro, pero no logran pasar a las representaciones en tres dimensiones. Sólo una persona, Lydia, menciona que no es plana, aunque su representación sí lo es, pero puede pensarse de nuevo que en realidad a lo que se refiere es que los átomos son tridimensionales pero la estructura de la molécula es plana, como se mencionó en los resultados obtenidos en la resolución del problema 1.

Tabla 6.2. Tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución del problema 2 del cuestionario previo a la actividad.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (100%) 
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (0%)

De nuevo sale a la vista que creen que el enlace ya existe en el átomo aislado y que los enlaces del carbono “deben ser llenados por los hidrógenos”, como lo menciona Liliana. Quizá a estas alturas

sea importante reforzar el concepto de valencia, que se define como el número de uniones que puede tener un átomo con otros átomos y que la mejor distribución que tienen los átomos alrededor del átomo de carbono es lo que le da la estructura tridimensional. Los resultados muestran el uso exclusivo de la representación cuadrada (ver **Tabla 6.2**).

Algunos de los comentarios que hicieron las y los estudiantes son:

Isabel: “Yo creo que los átomos están acomodados de esa forma porque como todos los hidrógenos tienen la misma carga se repelen y se unen al carbono.”

Carla: “Los acomodé así porque sólo hay dos carbonos y seis hidrógenos y todos los hidrógenos deben de estar unidos a los carbonos.”

Eva: “Porque los carbonos y los hidrógenos comparten sus electrones.”

Liliana: “Porque los carbonos como son iguales deben ir juntos y sus enlaces deben ser llenados por los hidrógenos.”

Montserrat: “Porque el carbono atrae al hidrógeno y como el hidrógenos tiene el mismo signo que los demás hidrógenos, se repele de los demás y se queda pegado al carbono, y se rechaza a pegarse al hidrógeno.”

Adriana: “Los átomos de carbono quedarían en el centro unidos por un enlace ambos y alrededor de ellos los hidrógenos quedando en cada átomo de carbono tres átomos hidrógeno. Esto no afecta su estabilidad pues cada átomo tiene partes iguales de átomos de hidrógeno.”

Lydia: “Porque de este modo cada carbono tiene tres átomos de hidrógeno. No es plano.”

Fabián: “Los hidrógenos rodean a los carbonos porque comparten electrones para ser estables.”

Marlene: “Lo dibujé de esta manera ya que tenemos dos átomos de carbono y seis átomos de hidrógeno y si los dos átomos de carbono están enlazados y balanceamos los átomos de hidrógeno poniendo tres hidrógenos a cada carbono.”

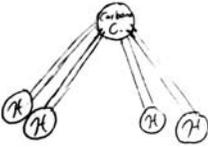
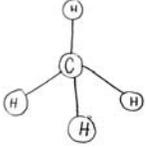
6.2. El carbono tetraédrico

Se dieron 10 minutos para la organización del grupo y para dar las dos primeras indicaciones.

Pista 1. Se dieron 5 minutos para resolver la pista 1. La solución a esta pista es muy congruente con los resultados obtenidos en el cuestionario previo aplicado a este mismo grupo. Tanto en los dibujos obtenidos como en los comentarios hechos al respecto, pues relacionan estabilidad con simetría en el acomodo y sugieren una distribución de los hidrógenos lo más uniforme posible, como menciona Isabel, “los hidrógenos se repelen”. También hay un comentario, el de Gloria, muy

convinciente de que la estructura es plana, pues hasta este momento cualquier figura que cumpliera con que los hidrógenos estuvieran unidos directamente al carbono eran correctas. Los resultados de las representaciones se muestran en la **Tabla 6.3**.

Tabla 6.3. Tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución de la pista 1 de la actividad del carbono tetraédrico.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (81,8 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (9,1 %)	Tetraedro (9,1 %)
			

Algunos de los comentarios de las y los estudiantes son los siguientes:

Plano cuadrado

Lydia: “El carbono es la bolita del centro, y las otras son hidrógeno de tal forma que estén distribuidos más o menos equivalentes.”

Gloria: “Es una figura plana.”

Fabián: “El carbono está rodeado por cuatro porciones de hidrógeno para mantenerse estable.”

Pirámide cuadrada

José Luis: “Como figura se sostiene en cuatro partes de hidrógeno quedando el carbono arriba.”

Tetraedro:

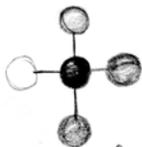
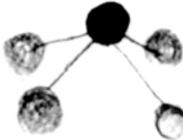
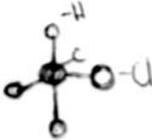
Eva: “Está formada por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno acomodados de tal forma que hacen un tetraedro.”

Giselle: “El carbono queda en medio para que todos los hidrógenos se estabilicen.”

Pista 2. Se dieron 5 minutos para resolver la pista 2. Aquí se explicaba a las y los estudiantes, sólo cuando era necesario, cómo se podía decidir si dos bolas eran equivalentes mediante rotaciones (o giros), esto surgió de la prueba piloto y dio buenos resultados pues, aunque no mencionan las rotaciones, entendían que si al rotar la figura las bolitas que representan a los átomos de hidrógeno se

superponían entonces eran equivalentes. Algo que se nota es que a diferencia de las pruebas piloto, se reduce el porcentaje de representaciones tetraédricas y aumenta el plano cuadrado, debido quizá a que es más fácil ver las rotaciones en el plano cuadrado. Sin embargo, los tres tipos de representaciones siguen cumpliendo con la condición dada en la pista. Las figuras obtenidas se clasificaron de la manera mostrada en la **Tabla 6.4**.

Tabla 6.4. Tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución de la pista 2 de la actividad del carbono tetraédrico.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (86,4 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (9,1 %)	Tetraedro (4,5 %)
			

Algunos de los comentarios de las y los estudiantes son los siguientes:

Plano cuadrado

Fernanda Jireh: “Se quita un hidrógeno y se puso un átomo de cloro pero da igual dónde la poníamos.”

Isabel: “Da igual por cuál hidrógeno se haya cambiado el cloro pues todos son simétricos.”

Gloria: “De nuevo una figura plana en la que efectivamente resulta indistinto cambiar cualquier hidrógeno por un cloro.”

Pirámide cuadrada

Miguel: “El negro vuelve a ser el centro de todo y a sus alrededores son iguales sólo cambia el color de uno que se cambia por rojo y todos están separados por enlaces.”

Tetraedro

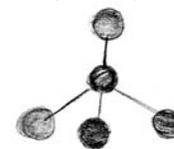
Eva: “Un átomo de carbono (bola negra), tres de hidrógeno (bola gris) y una roja de cloro.”

Pista 3. Se dieron 30 minutos para la resolución de la pista 3. Al igual que en las pruebas piloto, se observaba una mayor discusión y un mayor esfuerzo para seguirla, se quedaban en silencio

observando las figuras que hacían sus compañeras y compañeros y probaban con las rotaciones en sus figuras planas. Una vez que alguien descubría que las figuras cuadradas no cumplían, intentaba hacer otras y entonces, después de un rato de probar con varias, surgía el tetraedro. Incluso uno de los estudiantes argumenta que lo logró por casualidad, y sin embargo, prueban y cumple con la pista. De nuevo, identifican que hay una gran simetría en la figura resultante, varios incluso no conocen la forma tetraédrica y la expresan como “una figura que está elevada”, “una X chueca”, “un triángulo” incluso puede verse en los argumentos hechos que no explican, sino que sólo describen cómo es que lo hicieron. Sin embargo, hay quienes explican que para poder cumplir la pista, no podían “tomar la misma técnica de la plana”, es decir, sólo con rotaciones en un plano en donde tenían que girar siempre 90 grados para volver a obtener la bola de color en la misma posición. Por otro lado, también pueden notar que aunque esta figura (el tetraedro) es tridimensional es simétrica o, como lo describe Monserrat, “tiene la misma distancia” para explicar que están homogéneamente distribuidas en el espacio las bolas grises y rojas alrededor de la bola negra. Es un buen inicio, han comenzado a construir el carbono tetraédrico. Las figuras resultantes se muestran en la **Tabla 6.5**.

Tabla 6.5. Tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución de la pista 3 de la actividad del carbono tetraédrico.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (0 %)
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (100 %)



Algunos de los comentarios de las y los estudiantes son los siguientes:

Carla: “Esta figura es diferente que el punto 1 y 2 porque eran planas y esta figura está elevada.”

Monserrat: “Figura tridimensional que aunque gires y muevas queda igual. Es diferente a las otras dos porque ésta no es plana y tiene la misma distancia.”

Adriana: “En el centro se encuentra el carbono y dos cloros y dos hidrógenos están unidos al carbono de manera como una ‘X’ chueca. Llegamos a esta figura porque de donde lo observemos tiene las mismas bolitas, los colores etc.”

Miguel: “Es lo mismo ¿no? O sea que sólo cambia estructuralmente o químicamente porque físicamente es lo mismo. Bueno después de pensar y observar llegué a la conclusión de que no era lo mismo porque según las reglas, de cualquier ángulo tenía que ser igual entonces creé un triángulo.”

Gloria: “Ya no fue una figura plana sino tridimensional semejante a un tetraedro que cumplía con lo requerido.”

Melissa: “Esta figura tuvo que ser tridimensional pero simétrica, para lograr esta pista no pudimos tomar la misma técnica de la plana, necesitamos ocupar las tres dimensiones que existen para que esté simétrico.”

Marlene: “Al cambiar otra bolita gris por una roja cambiar la figura y aunque pongamos la bolita roja en cualquier otra bolita gris al girarlas la figura sigue siendo la misma.”

Para cerrar la actividad, y como se había venido haciendo en las pruebas piloto, se dio la explicación de lo que significa el carbono tetraédrico y sus implicaciones dentro de la química y fuera de ella y se pidió a las y los estudiantes su comentario sobre la actividad. Hay una gran variedad de comentarios en los que se ve que hay factores que Duit⁽³⁾ llama social-afectivos involucrados en la actividad, aquellos que les agradan y los que les desagradan.

También hay explicaciones de cómo es que se enfrentaron al problema, cómo el caso de Anuar que utiliza una analogía de algo que ya conoce, la Torre Eiffel; o el caso de Susana que explica que con “las diferentes formas para acomodar las bolitas, aunque fue muy simple creo que [...] tal vez nos sirva para entender mejor la estructura molecular”; o el caso de Fabián que dice que “la mayoría piensa que es plana pero tienen que tener forma en tercera dimensión”. En estos tres casos, las ideas manifiestan una transición de lo concreto a lo abstracto, o de otra manera, de algo conceptualmente simple a algo más elaborado. Pero en todos los casos explican que la parte complicada fue la pista 3, aunque al final lo lograron, algunos por sí mismos, otros de las explicaciones que se daban entre ellas y ellos. Aunque también hay quien explica que no entendió muy bien, y quizá valga la pena, explorar más la actividad para mejorarla. Aunque por experiencia, no se tiene el mismo alcance con todos y cada uno de los y las estudiantes.

Algunos de los comentarios sobre la actividad son:

Fernanda: “Esta actividad se me hizo muy buena ya que por lo menos a mí me hizo pensar mucho y ver que no es lo mismo acomodarlos donde tú creas, que hay formas, una de esas es la correcta. ¡Muy buena actividad!”

Isabel: “La actividad estuvo fácil excepto por la última figura que fue la que me costó más trabajo. Pero creo que ésta nos ayuda a comprender cómo se forma la molécula de un compuesto.”

Liliana: “Estuvo divertida la actividad pero hubiera estado mejor hacer más figuras.”

Montserrat: “La actividad más fácil para mí fue la primera pero la que me pareció un poco más complicada fue la última que me salió jugando y observando cómo le explicaban a Isabel.”

Adriana: “Las dos primeras figuras estuvieron muy fácil al realizarlas, pero al realizar la tercera me costó más trabajo buscar la manera de hacer la figura cumpliendo la pista, pero al final me resultó.”

Anuar: “Se me complicó al principio porque no entendía bien qué hacer pero al explicarme de nuevo estaba buscando la forma y en una parte estaba jugando haciendo como la Torre Eiffel y observé que sí cumplía los requisitos.”

Susana: “Creo que la actividad fue divertida y recreativa, fue muy interesante porque nos hizo pensar en las diferentes formas para acomodar las bolitas, aunque fue muy simple creo que fue divertida, y tal vez nos sirva para entender mejor la estructura molecular y no sea tan difícil entender.”

José Luis: “Al principio no entendí las instrucciones de ‘que se vieran iguales’ ya que yo la entendí estructuralmente no con los colores de las bolitas”

Miguel: “Al principio creí que estaba muy fácil, pero lo fácil resultó muy difícil, me refería a que estuvo más o menos difícil de pensar o sea porque tuve que pensar en una figura geométrica que se pudiera ver igual de cualquier ángulo.”

Fabián: “La actividad es recreativa y sirve para ver la estructura de las moléculas ya que la mayoría piensa que es plana pero tienen que tener forma en tercera dimensión.”

Melissa: “¡Siempre me han gustado sus ejercicios! Porque de una forma dinámica nos hace pensar. La última pista estuvo más difícil pues hacer la figura primero con la idea de que es plana pero como no sale tienes que buscar otras formas.”

Mariana: “Me gustó esta actividad ya que creo que es más fácil aprender por medio de juegos y actividades que requieran de nuestros conocimientos para ponerlos en práctica.”

6.3. Cuestionario posterior a la actividad

Se dieron 20 minutos para la resolución individual del cuestionario posterior a la actividad.

Problema 1. De nuevo se obtienen respuestas que explican por qué están unidos los átomos o qué los mantiene unidos o simplemente describen cómo están acomodados (especialmente en las y los

estudiantes que hacen representaciones cuadradas), sin embargo, también se observan explicaciones y representaciones espaciales tridimensionales en las que remarcan la distribución de los átomos, las distancias que guardan entre sí o simplemente al estar unidos al carbono (que es tetraédrico) debe tener una forma tetraédrica. Esta última explicación resulta importante, como dice Ramberg,⁽²⁾ por ser parte de la actitud pragmática necesaria que tienen los químicos pero que sin embargo son útiles para la explicación o predicción de muchos fenómenos químicos. Sin embargo, lo valioso no es decir a las y los estudiantes que el carbono es tetraédrico, sino que ellas y ellos mismos lo vayan construyendo, se convenzan y poco a poco lo utilicen (al menos es lo que se esperaba que hicieran en lo que quedaba del semestre y en Química III, para aquellos que decidieran tomarla) y más adelante que entendieran otras simetrías en tres dimensiones que les permitiera comprender los movimientos moleculares (vibraciones y rotaciones) y no quedarse con la idea de que las moléculas son rígidas.⁽⁴⁾

Sin duda, no alcanzan a observar la otra forma de acomodar los átomos con el carbono en el centro —a diferencia de los resultados de la prueba piloto en la que incluso los nombran como isómeros, aunque es más bien por influencia del tema visto en Química III— pero hacen intentos al aplicar los “giros” que hicieron durante la actividad del carbono tetraédrico, como expresan Lydia y Miguel. Obviamente, la otra forma de acomodarlos no la obtendrán sólo por rotaciones, sino que implica separar completamente del carbono dos átomos y volverlos a unir en otra posición, como se muestra en la **Figura 6.1**, donde el H y el F se han cambiado de posición y la primer figura no puede obtenerse por rotaciones a partir de la segunda.

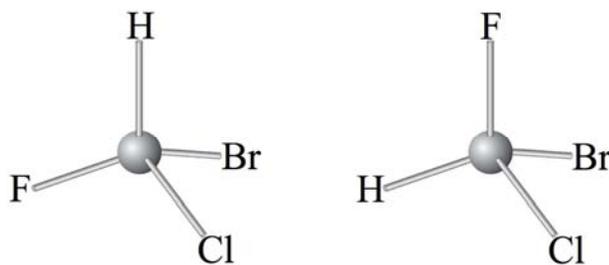
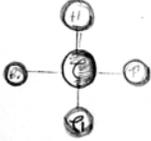


Figura 6.1. Las dos formas de acomodar el H, el F, el Cl y el Br alrededor del átomo de carbono. Una no se puede obtener de la otra sólo por rotaciones, sino que para hacerlo dos átomos se tienen que separar completamente del carbono y volverlos a unir intercambiando sus posiciones. En este caso, se han intercambiado el H y el F.

Los resultados obtenidos muestran el uso de la representación tetraédrica además de la cuadrada como se observa en la **Tabla 6.6** y, a diferencia de la prueba piloto, es mayor la frecuencia

(ver **Anexo 7**), pero de nuevo, no se puede generalizar más que la tendencia por ser grupos pequeños de estudiantes.

Tabla 6.6. Tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución del problema 1 del cuestionario posterior a la actividad.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (45,5 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (54,5 %)
			

Algunos de los comentarios que hacen las y los estudiantes en este problema son:

Plano cuadrado.

Monserrat: “Todos son atraídos por el hidrógeno, pero al mismo tiempo guardan cierta distancia entre sí, si son del mismo signo se repelen, si no es así se atraen, el carbono en el centro y los demás elementos alrededor de él.”

Lydia: “Porque de esta manera los elementos H, F, Cl y Br están unidos (cada uno) al carbono. Pues creo que sí, pero no se me ocurre otra forma. La molécula puede girar.”

José Luis: “Unido cada elemento a un enlace del carbono. Lo dibujé así ya que es la única forma en que se pueden unir los elementos al carbono. Algún cambio sería lo mismo.”

Miguel: “El carbono sería el centro de todo por lo cual los que restan H, F, Cl y Br irían alrededor de él. No, bueno a lo mejor se podrían rotar y sería lo mismo, porque sólo tomarían posiciones distintas pero sería igual.”

Gloria: “Porque el carbono es capaz de atrapar cuatro átomos más e imagino que lo hace de este modo para encontrar estabilidad.”

Melissa: “El hidrógeno, flúor, cloro y bromo están unidos al carbono, están acomodados simétricamente para estar espacialmente acomodados. Para diferenciar a cada uno están de diferente tamaño.”

Marlene: “Porque los elementos H, F, Cl y Br están unidos al carbono por lo que al unirlos puse uno de cada lado para que queden balanceados.”

Tetraedro

Eva: “Están acomodados de tal forma que crean un tetraedro.”

Alejandro: “Porque acomodado de esta manera es indistinto el lugar de H, Br, Cl y F.”

Liliana: “Porque dice que al carbono es al que están unidos y porque como son diferentes no pueden ir juntos. Pero este no es plano sino de manera tridimensional.”

Adriana: “El carbono queda en el centro, arriba el cloro y abajo los tres elementos restantes Br, H, F quedando una figura tridimensional. Quedando de esta manera no afecta y por todos lados se observa igual. No se puede acomodar de otra manera porque no se encuentra otro modo de poner la molécula para que no afecte el compuesto.”

Anuar: “Porque los elementos están unidos por el carbono y si se cambiaran de lugar algún elemento no cambiaría.”

Fabián: “Los elementos están unidos químicamente al carbono por lo que lo rodean formando una figura tridimensional.”

Yessica: “Es debido a que no es plana y todos los elementos están unidos al carbono.”

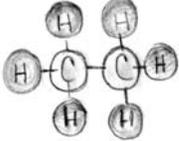
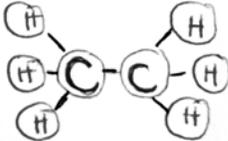
Rodrigo: “Porque los elementos que están unidos al carbono daría lo mismo si los cambio de lugar y sólo me daría un producto.”

Problema 2. En la resolución de este problema, las respuestas se basan principalmente en la proporción de hidrógeno y carbono y en la “distribución” de los hidrógenos sobre el carbono para tener un “balance” (la mayor simetría posible) o “se ve mejor”, como menciona Miguel. Lydia va un poco más allá, pues fue la única estudiante que mencionó que la distribución se debe a que “de esta forma cada carbono tiene tres hidrógenos y los cuatro enlaces que puede formar los están ocupando”, es decir, indirectamente se está propiciando el concepto de valencia que se había mencionado que se debía reforzar, por lo que quedaría aclararlo una vez que ya ha salido a flote.

En el caso de la representación tetraédrica, el argumento que se da es que “son más átomos de carbono” que en el problema 1, pero conservan su forma cada carbono, es decir, no importa cuántos carbonos sean deben conservar su forma tetraédrica. Como sucedió en la prueba piloto, dado que el problema es la representación de una estructura más compleja, la aparición del carbono tetraédrico tiene menor frecuencia (ver **Tabla 6.7**) aunque en este grupo es aún menor, sin embargo, no se debe

perder de vista que en la prueba piloto (ver **Anexo 7**) las y los estudiantes eran de la clase de Química III, donde además de tener mayor edad, ya han revisado un poco más de la estructura y representación tridimensional de compuestos orgánicos, aunque los resultados tienen la misma tendencia.

Tabla 6.7. Tipos de representación realizada y la frecuencia obtenida en la resolución del problema 2 del cuestionario posterior a la actividad.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (90,9 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (9,1 %)
			

Algunos de los comentarios que hacen las y los estudiantes en este problema son:

Plano cuadrado

Fernanda: “Por cada átomo de carbono pueden haber tres de hidrógeno y así se completa la fórmula.”

Isabel: “Los hidrógenos se unen a los átomos de carbón y en la fórmula nos dice que hay seis hidrógenos y dos carbonos, por eso es así su unión.”

Carla: “Porque hay dos átomos de carbono y seis de hidrógeno y así están bien acomodados y distribuidos.”

Liliana: “Porque los carbonos como son iguales van juntos mientras que los hidrógenos sólo los completan.”

Adriana: “Está así dibujado porque de esta manera están en proporciones iguales cada carbono con tres hidrógenos cada uno, y con esto mantiene su estabilidad el compuesto.”

Lydia: “De esta forma cada carbono tiene tres hidrógenos y los cuatro enlaces que puede formar los están ocupando.”

Susana: “Porque creo que debe haber un balance entre los carbonos e hidrógenos.”

Fabián: “Los hidrógenos comparten electrones con los carbonos y giran alrededor de ellos.”

Giselle: “Los dos carbonos en medio y los seis hidrógenos alrededor. Lo dibujé de esta manera porque los hidrógenos le darían estabilidad a los carbonos.”

Tetraedro

Eva: “Son más átomos de carbono, pero conservan su forma cada carbono.”

Miguel: “El carbono, bueno los carbonos irían en el centro y los hidrógenos tres y tres para balancearlo, o sea no tanto químicamente, pero se ve mejor.”

6.4. Conclusión de la prueba definitiva

En la prueba definitiva, el desarrollo de la actividad del carbono tetraédrico sigue la misma tendencia que en las pruebas piloto (ver **Anexo 6**, **Anexo 7** y **Tabla 6.8**). La diferencia más notoria en la frecuencia, es que conforme se reduce la edad de las y los estudiantes (y por lo tanto el grado escolar) las representaciones planas cuadradas aumentan y las representaciones tetraédricas disminuyen notoriamente, lo que indicaría que hay influencia de la edad y el desarrollo cognitivo. Analizándolo desde esta perspectiva, indicaría que las representaciones cuadradas cognitivamente son más sencillas, algo que hasta el desarrollo de la segunda prueba piloto no podía deducirse claramente y mucho menos generalizarse.

Tabla 6.8. Comparación de los resultados obtenidos en la resolución de las pistas de la actividad del carbono tetraédrico en las dos pruebas piloto y la prueba definitiva.

	Representación utilizada	Primera prueba piloto			Segunda prueba piloto			Prueba definitiva		
		Pista 1	Pista 2	Pista 3	Pista 1	Pista 2	Pista 3	Pista 1	Pista 2	Pista 3
Bidimensional (Frecuencia, %)	Asimétrica	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0
	Simétrica no cuadrada	16,7	5,6	0	6,7	0	0	0	0	0
	Plano cuadrado	27,8	38,9	0	73,3	80,0	6,7	81,8	86,4	0
Tridimensionales (Frecuencia, %)	Asimétrica	11,1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Pirámide cuadrada	16,7	33,3	5,6	6,7	6,7	0	9,1	9,1	0
	Tetraédro	22,2	22,2	94,4	13,3	13,3	93,3	9,1	4,5	100

De lo anterior, se puede generalizar la tendencia que se dirige inicialmente hacia la aparición de representaciones cuadradas (planos cuadrados, cognitivamente más simples), al pasar de la pista 1 a la pista 2 y posteriormente hacia la desaparición de las representaciones cuadradas (plano cuadrado y

pirámide cuadrada) y la aparición súbita de las representaciones tetraédricas (cognitivamente más complejo).

Otro factor muy importante, y como ya se ha venido observando desde las pruebas piloto, es que el trabajo en equipo es fundamental para alcanzar las representaciones tetraédricas debido a que promueve la discusión entre las y los integrantes, al mismo tiempo que permite la comparación de las ideas sobre las representaciones y la corroboración de la equivalencia entre dos estructuras mediante rotaciones, e incluso explicaciones que entre ellas y ellos hacían ya que, como menciona Leikin,⁽⁵⁾ entre las y los estudiantes se gana entendimiento como resultado de explicarse sus soluciones entre pares.

La ventaja de haber presentado la actividad del carbono tetraédrico como se hizo es que las y los estudiantes se involucraron plenamente y lo sintieron como un juego a pesar de que nunca se les mencionó que lo era, como puede verse en varios de los comentarios, como el de Melissa o el de Mariana.

Al comparar los resultados de la resolución del cuestionario previo y posterior a la actividad con los obtenidos en la prueba piloto (ver **Anexo 7** y **Tabla 6.9**), se observa que se sigue la misma tendencia, es decir, que en sus respuestas comienzan a utilizar el concepto del carbono tetraédrico en la representación y resolución de los problemas. Por otro lado, también se puede generalizar que en representaciones más complicadas (con dos átomos de carbono) predomina la representación de plano cuadrado (ver tabla siguiente) ya que, como se ha explicado, cognitivamente resulta más complicado hacer representaciones tridimensionales de estructuras más complejas.

Tabla 6.9. Comparación de los resultados obtenidos en la resolución del cuestionario previo y posterior a la actividad con los obtenidos en la prueba piloto (**Anexo 7**).

	Representación utilizada	Prueba piloto				Prueba definitiva			
		Problema 1		Problema 2		Problema 1		Problema 2	
		Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior
Bidimensional (Frecuencia, %)	Simétrica no cuadrada	0	0	0	0	4,5	0	0	0
	Plano cuadrado	100	60	100	80	90,9	45,5	100	90,9
Tridimensionales (Frecuencia, %)	Asimétrica	0	0	0	0	4,5	0	0	0
	Tetraédrico	0	40	0	20	0	54,5	0	9,1

Al igual que en la prueba piloto, las representaciones tetraédricas persisten aún después de una semana de realizada la actividad del carbono tetraédrico no sólo en las representaciones con un átomo

de carbono, sino que también en las representaciones con dos átomos de carbono, aunque con menor frecuencia.

A diferencia de lo que se observó en la prueba piloto, en los cuestionarios previo y posterior, las y los estudiantes utilizan bastante bien los términos compuesto, elemento, molécula y átomo y, además de no tener confusiones al respecto, se enfocan más a la parte simétrica de las representaciones. De ahí que la parte que resultó más complicada fue la de corroborar cómo es que dos representaciones era equivalentes.

6.5. Recapitulación

La construcción del carbono tetraédrico parte de las representaciones menos simétricas hacia las más simétricas^(b) y de las representaciones bidimensionales hacia las tridimensionales que, como se ha explicado, implicaría una mayor complejidad cognitiva (ver **Figura 6.2**), de ahí que la actividad planteada haya llevado a las y los estudiantes en esa dirección: pasar de las representaciones cuadradas (bidimensionales y de menor simetría) hacia las representaciones tetraédricas (tridimensionales y de mayor simetría) del carbono.

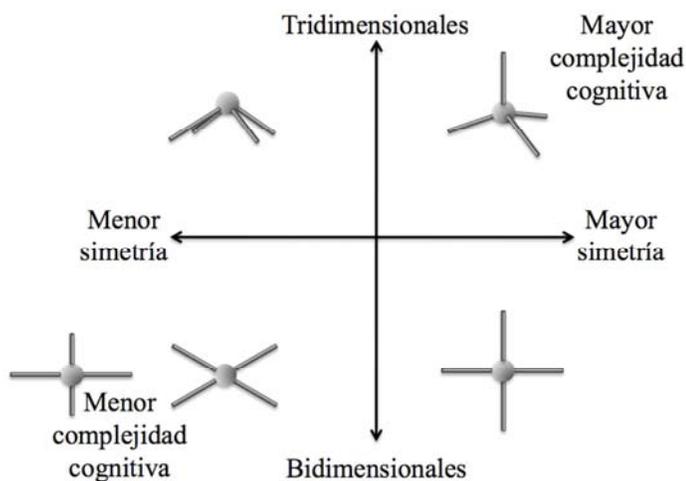


Figura 6.2. La construcción del carbono tetraédrico parte de las representaciones menos simétricas hacia las más simétricas y de las representaciones bidimensionales hacia las tridimensionales. Pasar de las representaciones cuadradas (bidimensionales y de menor simetría) hacia las representaciones tetraédricas (tridimensionales y de mayor simetría) del carbono implicaría una mayor complejidad cognitiva.

^b En simetría, una figura se dice que es más simétrica cuando tiene más elementos de simetría (identidad, ejes, planos y puntos de inversión) con los cuales se pueden realizar operaciones de simetría (rotaciones, reflexiones, inversiones y rotaciones impropias). El plano cuadrado tiene 16 elementos de simetría, mientras que el tetraedro tiene 24.⁽⁴⁾

Las herramientas que se usaron para ver la simetría de las representaciones fueron las rotaciones con las cuales se evaluaba si dos puntos, en este caso las posiciones de dos hidrógenos, eran equivalentes. Esa mayor simetría la relacionan con estabilidad o balance, de ahí que, aunque no veían la simetría la intuían, como se puede ver en algunos argumentos, por ejemplo, Miguel menciona que “los carbonos irían en el centro y los hidrógenos tres y tres para balancearlo, [...] se ve mejor” o, como escribe Adriana, “está así dibujado porque de esta manera están en proporciones iguales cada carbono con tres hidrógenos cada uno, y con esto mantiene su estabilidad el compuesto”.

El éxito alcanzado por esta actividad se debe a la formación de equipos y la discusión entre sus integrantes. Ahora, el papel del juego, aunque no se presentó de forma explícita, fue acercar a las y los estudiantes de una manera más atractiva al concepto del carbono tetraédrico y, por lo tanto, que se involucraran lo más posible. De ahí que cuando alguien descubría la solución aumentara el ánimo, por lo que las y los estudiantes comentaban que les gustó el juego o que había sido una buena práctica, incluso lo consideran como un momento de descanso, el *intermezzo*, como menciona Huizinga. Aunque también hay quienes mencionan que fue complicado o que no les gusta escribir sus ideas, con lo cual sale a la luz que los factores emocionales también influyen en los resultados de la actividad.

Respecto a los instrumentos de evaluación, el cuestionario previo y el posterior a la actividad han mostrado el uso de la información generada (el carbono tetraédrico) durante la actividad de parte de las y los estudiantes. De este modo, por ejemplo, en la aplicación directa del carbono tetraédrico (Problema 1) las representaciones previas son planas cuadradas y las posteriores son tetraédricas predominantemente, mientras que en la extrapolación a una estructura más compleja (Problema 2) las representaciones previas son planas cuadradas netamente y las posteriores planas cuadradas mayoritariamente y tetraédricas minoritariamente, lo cual muestra la complejidad cognoscitiva que conllevan el concepto del carbono tetraédrico y su aplicación (ver **Figura 6.2**).

En el cuestionario previo, las y los estudiantes intentan resolver los problemas explicando por qué están unidos los átomos y posteriormente cómo están distribuidos espacialmente y haciendo uso de la simetría. Lo que indicaría que comienzan a diferenciar entre enlace y estructura, cuyo modelo para el primero son los electrones entre los átomos y para la segunda la distribución espacial de los átomos alrededor del átomo de carbono.

Finalmente, se debe señalar la importancia de las pruebas piloto las cuales, al empezar a trabajar con estudiantes de cierta edad (18 años) e ir yendo hacia edades menores (17 años y finalmente 16 años), permitieron ir comprendiendo su forma de pensar y aplicar las herramientas que

utilizaban para hacer más claras las explicaciones. Además, permitió comprender que la discusión entre pares refuerza la comprensión de conceptos, en este caso, tanto de la rotación como elemento que permite corroborar la equivalencia entre dos estructuras así como la construcción y naturaleza del concepto carbono tetraédrico

6.6. Referencias del capítulo

- ¹ Talanquer V. “El químico intuitivo.” *Educación Química*, 2005, 16(4), 114-122.
- ² Ramberg P. J. “Pragmatism, Belief, and Reduction. Stereoformulas and Atomic Models in Early Stereochemistry.” *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2000, 6(1), 35-61.
- ³ Duit R., Treagust D. F. “Conceptual change – A powerful framework for improving science teaching and learning.” *Int. J. Sci. Educ.*, 2003, 25(6), 671-688.
- ⁴ Tuvi-Arad I., Blonder R. “Continuous symmetry and chemistry teachers: learning advanced chemistry content through novel visualization tools”, *Proceedings of the Chais conference on instructional technologies research 2010: Learning in the technological era*. Raanana: The Open University of Israel, pp. 87-93.
- ⁵ Leikin R, Berman A, Zaslavsky O. “Learning through teaching: the case of symmetry.” *Mathematics Education Research Journal*, 2000, 12(1), 18-36.
- ⁶ Huheey J. E., Keiter E. A., Keiter R. L. “Simetría y teoría de grupo.” *Química Inorgánica, Principios de estructura y reactividad*. Cuarta edición, Harla, México, 1997, pp. 49-90.
- ⁷ Huheey J. E., Keiter E. A., Keiter R. L. “Simetría y teoría de grupo.” *Química Inorgánica, Principios de estructura y reactividad*. Cuarta edición, Harla, México, 1997, pp. 49-90.

7. Conclusiones y perspectivas

7.1. Conclusiones

La propuesta didáctica que se presenta en este trabajo, aborda un tema que histórica y curricularmente se presenta a las y los estudiantes de manera implícita dentro de otros temas, es decir, la tridimensionalidad de la materia. Sin embargo, dadas las complicaciones que conlleva entender dicho tema, en el desarrollo de la propuesta se realizaron dos actividades lúdicas: la primera, referida a cómo se construyen las teorías científicas y, la segunda, referida a la construcción del carbono tetraédrico. Así también, se llevó a cabo la aplicación de un instrumento de evaluación que se aplicó antes y después de la actividad del carbono tetraédrico para conocer el proceso de construcción de dicho concepto y las herramientas que utilizan las y los estudiantes en su aplicación a un problema de representación en química (rotaciones, para corroborar equivalencia en representaciones químicas, y tridimensionalidad en estructuras con carbono).

En la primera actividad lúdica (El misterio del asesinato) las y los estudiantes lograron explicar el proceso por el cual pudieron plantear una hipótesis mediante el ordenamiento de la información y la explicación de las pruebas para corroborarla. Aunque lo anterior no se refleja en los resultados de la segunda actividad (el carbono tetraédrico), es interesante ver que la manera en la que proceden es muy similar a la de la primera, es decir, que también utilizaron un proceso de ordenamiento y corroboración de la información.

En la segunda actividad lúdica, el carbono tetraédrico, las y los estudiantes desarrollaron y utilizaron una herramienta sencilla para corroborar la simetría en las representaciones químicas: las rotaciones. Por otro lado, el mismo concepto de carbono tetraédrico lo han utilizado como herramienta “pragmática” para resolver los problemas de química, aunque mayoritariamente lo utilizan en aplicaciones directas y minoritariamente en aplicaciones más complicadas.

En lo que respecta a la propuesta didáctica, la cual está enmarcada dentro de las actividades lúdicas, los juegos han permitido relajar la tensión durante todo el tiempo que ha durado cada una de

las actividades aún sin mencionarse en ningún momento que eran tales y permitiendo además que las y los estudiantes hicieran propuestas y dieran explicaciones para cada punto que se les solicitaba o que ellas y ellos mismos observaban. Lo anterior muestra que las actividades lúdicas en la enseñanza y el aprendizaje de la química permiten una mayor participación de las y los estudiantes, un mayor acercamiento entre la o el docente y las y los estudiantes y una muy buena permeación de la o del docente a la forma de pensar de sus estudiantes. Aunque el trabajo también muestra que aún falta una propuesta estricta y formal para evaluar el aprendizaje con los juegos, ya que seguir evaluando de la misma manera no sería conveniente ya que las y los estudiantes recurrirían a las formas ya conocidas de aprobar los exámenes.

7.2. Perspectivas

Las actividades lúdicas que se han desarrollado en este trabajo han mostrado que las y los estudiantes pueden hacer explícita su manera de desarrollar una idea y de desarrollar un concepto, aunque en la mayoría de los casos se queda en la simple descripción y no alcanzan a percibir una perspectiva de su aplicación como parte de su aprendizaje o a estar conscientes de la manera en lo que lo hacen. Sin embargo, el hecho de que pudieran explicar la manera en la que procedieron, fue posible gracias al trabajo constante durante todo un ciclo escolar en el cual se convivió con las y los estudiantes y se contó con el invaluable apoyo de la maestra Leonor Pinelo, la cual siempre aportó comentarios a las actividades.

Como perspectiva de este trabajo, se puede dar continuidad al carbono tetraédrico dentro de la unidad 3, “Medicamentos, productos químicos para la salud”⁽¹⁾ dentro del Programa de Química II, en donde, como sugiere Hoffmann, “uno puede usar los sucesos infortunados en un sentido educativo” y utilizar alguna lectura donde se exponga la importancia de la tridimensionalidad de la materia, por ejemplo, una lectura sobre la talidomida y sus consecuencias en la sociedad⁽²⁾ que sin duda es una historia espeluznante que levantará el interés de las y los estudiantes.

Por otro lado, el tema del carbono tetraédrico lleva una fuerte carga del concepto de simetría, por lo que podría conectarse con la enseñanza de otras áreas científicas, especialmente matemáticas, ya que, como menciona Leikin,⁽³⁾ hay poca información sobre las habilidades cognitivas en simetría tanto en niñas y niños como en personas adultas, aunque se sabe que hay una asociación entre el desarrollo cognitivo de las y los estudiantes y su desempeño sobre tópicos relacionados a ésta. En el

caso de la química, el aprendizaje de la simetría se basa en la habilidad de percibir las moléculas en tres dimensiones y manipularlas mentalmente mediante rotaciones y reflexiones en el espacio, lo cual es importante para el entendimiento de muchos conceptos químicos.^(4,5) Sin embargo, en los estudios descritos se da por hecho que las y los estudiantes ya han logrado la concepción tridimensional de la materia y se centran en la interpretación de las representaciones moleculares,⁽⁶⁾ por lo que sería interesante hacer la conexión entre la primera (concepción) y la segunda (interpretación).

Como comentario final, valdría la pena explorar la evaluación del aprendizaje también desde las actividades lúdicas, más aún desde la enseñanza de la química, ya que durante la revisión bibliográfica del estado del arte desde este marco conceptual, no hay aún suficientes materiales para hacerlo.

7.3. Referencias del capítulo

-
- ¹ Programa de estudio de Química I y Química II. CCH-UNAM.
 - ² Hoffmann R. *Lo mismo y no lo mismo*. Fondo de Cultura Económica. México, 1997, pp. 139-149.
 - ³ Leikin R., Berman A., Zaslavsky O. "Learning through teaching: the case of symmetry." *Mathematics Education Research Journal*, 2000, 12(1), 18-36.
 - ⁴ Tuvi-Arad I., Blonder R. "Continuous symmetry and chemistry teachers: learning advanced chemistry content through novel visualization tools", *Proceedings of the Chais conference on instructional technologies research 2010: Learning in the technological era*, Raanana: The Open University of Israel, pp. 87-93.
 - ⁵ Coleman S. L., Gotch A. J. "Spatial perception skills of chemistry students", *J. Chem. Educ.*, 1998, 75(2), 206-209.
 - ⁶ Tuvi-Arad I., Gorsky P. "New visualization tools for learning molecular symmetry: a preliminary evaluation", *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2007, 8(1), 61-72.

Anexos

Anexo 1. Cuestionario de caracterización del grupo

Cuestionario sobre la visión de la química de los estudiantes de bachillerato

Elaborado por: Alejandro Rojano Moral (2008)

MADEMS-Química, 5a Generación

Nombre:

Edad:

Fecha de nacimiento: día _____ mes _____ año _____

1. De las materias que has tomado en tus cursos anteriores, ¿cuál es la que más te ha gustado?, ¿por qué?
2. Califica en una escala de 0 a 10 las siguientes materias de acuerdo a tu experiencia qué tanto te ha gustado: Matemáticas (), Física (), Química (), Biología (), Historia (), Literatura (), Sociales (), Deportes (), Idiomas (), Artística (), Geografía (), Informática ().
3. ¿Te gusta la química? (Si) (No) ¿Por qué?
4. ¿Por qué estudiamos química en la secundaria y el bachillerato?
5. Desde tu propia experiencia ¿cuáles calificativos le pondrías a la química?
6. ¿Qué es lo que más se te ha dificultado en química?
7. ¿Cómo crees que la química sería más agradable para ti?
8. Cuando termines de estudiar el bachillerato, ¿qué actividades pretendes hacer? ¿Por qué pretendes hacer esas actividades?
9. ¿Qué sigue después del bachillerato?
10. ¿Crees que la química va a ser útil más adelante en tu vida? ¿De qué manera?

Anexo 2. Proyecto CLIS. Parte B: La naturaleza de la teoría científica y la elaboración de teorías

A2.1 Traducción

1. Intención y pensamiento subyacente

Más adelante durante el curso, los estudiantes se involucrarán en el desarrollo de sus propias teorías que relacionen la naturaleza de la materia. En la preparación de esta actividad parece apropiado y necesario proporcionar a los estudiantes oportunidades para reflexionar:

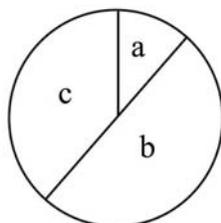
- i) La naturaleza de las teorías científicas – ‘¿a qué se parecen?’
- ii) La manera en que se desarrollan las teorías científicas.

2. Plan de acción

La parte B se divide en varias actividades:



CRONOMETRANDO: Tiempo total para las secciones – aproximadamente 80 minutos. El tiempo gastado en los juegos varía considerablemente de clase a clase y de grupo a grupo dentro de una sola clase.^(a) El juego descubriendo la regla puede tomar 10 – 15 minutos. El tiempo mínimo tomado para resolver el misterio del asesinato ha sido 10 minutos – otros grupos han estado totalmente ocupados durante 40 minutos y no han podido completar el problema.



- a. Juego “descubriendo la regla”
- b. Juego “el misterio del asesinato”
- c. Revisión de ideas

^a La clase (*class*) se refiere al grupo de clase y el grupo (*group*) se refiere a los equipos.

3. Las actividades

3.1. El juego “descubriendo la regla”

Este juego proporciona a la sesión una introducción simple que rápidamente capta el interés de los estudiantes. Establece una situación en la que se reúnen datos (nombres) y se buscan patrones con esos datos.

- i) **El juego.** Con cualquier introducción, el maestro le pide a los estudiantes en la clase que levanten su mano y digan:

“El nombre de un muchacho o muchacha” – “Cualquier nombre.”

Ya que se dan los nombres el maestro los escribe en el pizarrón poniendo una paloma o cruz en cada uno:

Julia ×

El maestro pide otro nombre:

Anita ×

Y otro:

Alan ✓

Y así sucesivamente.

El estudiante (quién está evidentemente familiarizado con jugar juegos) rápidamente reconoce lo que se requiere de ellos: **Para descubrir la regla se siguen las palomas.**

La regla hecha por el maestro podría ser: **“Los nombres con cuatro letras tienen una paloma”**, o cualquier otra regla que el maestro quiera inventar.

- ii) **Organización.** Los estudiantes deben acomodarse mirando al frente del salón de clase.

- iii) **Completando el juego** – el maestro puede preguntar a los estudiantes cómo pudieron descubrir la regla. Es probable que ellos se refieran, de una manera u otra, a buscar modelos en los nombres.

El maestro sigue sugiriendo que los científicos están a menudo envueltos en este tipo de actividad de descubrir patrones – no sólo los científicos sino también los detectives – con lo que lleva el juego del misterio del asesinato.

NOTA: La regla que descubre el juego proporciona una introducción simple a la práctica de generar y probar las hipótesis. Sin embargo, no sería apropiado en esta fase involucrarse en un análisis largo del juego con los estudiantes – seguir directamente con el misterio del asesinato.

3.2. El juego “el misterio del asesinato”

- i) **La actividad.** A cada grupo de estudiantes se proporciona un juego de tarjetas. En las tarjetas están impresas las pistas de un asesinato. Pueden encontrarse detalles del juego en la **sección 5**. Se pide a los estudiantes resolver el asesinato y llevar su solución al maestro que tiene la respuesta ‘correcta’.

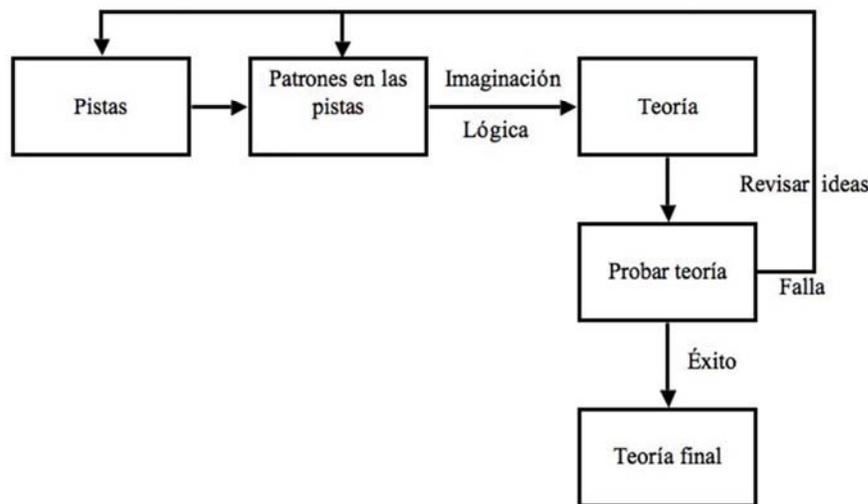
- ii) **Organización.** Se pide a los estudiantes que trabajen en grupo de discusión normal. Probablemente habrá un tiempo entre el primero y último grupo para completar el ejercicio. Permitir a tantos grupos como sea posible, ganar la satisfacción de resolver el asesinato, a los grupos que terminan

rápídamente se les debe pedir reflexionar en la **manera** en que alcanzaron su solución, en la preparación para la revisión de ideas.

3.3. Revisión de ideas

Repasando los dos juegos y atrayendo paralelamente al mundo de la ciencia, se anima a que los estudiantes reflexionen sobre la naturaleza de las teorías científicas y las maneras en las que pueden desarrollarse las teorías.

- i) **Organización.** Esta sesión está organizada como una discusión de clase. Debe invitarse a los estudiantes a sentarse mirando al frente del aula. El maestro necesitará el acceso a un pizarrón o proyector.
- ii) **La revisión.** Intentando analizar los pasos involucrados para resolver el misterio del asesinato, el modelo siguiente ha demostrado ser útil como una estructura guía para el maestro.



Considerar cómo podría desarrollarse la revisión con un grupo de estudiantes. Para empezar, debe pedirse a los estudiantes pensar y tratar de identificar el proceso mediante el cual resolvieron el misterio del asesinato. El maestro podría reunir las ideas en el pizarrón.

Una clase empezó formando grupos de discusión y buscando **tipos de pistas**. Así las pistas se ordenaron en varias listas con base en los nombres, tiempos o lugares. Cuando los estudiantes habían escogido los tipos de pistas, reconocieron que todavía necesitaban **usar su inteligencia** para reunir **una idea**; la idea no se hizo pensar por sí misma directamente del patrón de pistas. Cuando se sugerían las ideas, los estudiantes **las revisaban**. Las ideas eran abandonadas, “no puede haber sido él – él no estaba allí”, hasta que una fuera puesta adelante que parecía **trabajar para todas las pistas**.

El maestro pudo representar estas ideas en una estructura de contorno similar a la anterior, dado eso:

tipos de pistas	→	patrones en las pistas
uso de su inteligencia	→	uso de imaginación / lógica
una idea	→	una teoría
teoría revisada	→	teoría probada

De tal análisis el maestro está ahora en una posición para relacionar las ideas con la elaboración de teorías científicas. La discusión puede llevar a algunas de las ideas siguientes:

- Las teorías científicas pueden ‘ordenar’ grupos de datos aparentemente inconexos.
- La elaboración de teorías científicas a menudo involucra buscar el patrón en los datos.
- La elaboración de teorías científicas puede requerir hacer un ‘salto imaginativo’ de los datos a la teoría propuesta (pero la necesidad no siempre es un proceso que empieza con los datos).
- La prueba de teorías científicas involucra revisar toda evidencia disponible.
- El éxito de una teoría se juzga por su habilidad para interpretar o explicar toda evidencia disponible.
- Las teorías científicas son ‘invenciones’ de las personas y como tal pueden cambiar con el tiempo.

El objetivo de esta sesión no es un análisis detallado de todos los aspectos de la elaboración de teorías científicas. Simplemente es una introducción a la elaboración de teorías. El maestro debe registrar cualquier idea que surja de las discusiones para que puedan referirse más tarde en la parte D, Elaboración de Teorías de los Estudiantes. Un posible ejercicio de tarea puede encontrarse en la sección 6.

NOTA: Varios maestros han expresado dudas sobre la validez de usar la analogía del misterio del asesinato como una introducción a la teoría científica. El señalamiento se ha hecho muy correctamente, ya que la analogía del misterio del asesinato: **tiene sólo una solución posible y correcta**, el asesinato es la persona cuyo nombre aparece en la tarjeta de la respuesta del maestro. La ciencia, por otro lado, no se trata de únicas y eternas soluciones que pueden verificarse contra un poco de autoridad mayor. Este punto de vista puede introducirse por el maestro, como un enfoque de discusión más extensa. Alternativamente, si lo desea, el maestro puede modificar el juego (por ejemplo, teniendo una **tarjeta en blanco** de la respuesta en un sobre sellado) o usar una actividad diferente y más abierta.

4. Reflexiones sobre la Parte B

4.1. Tópicos generales

Maestros y estudiantes reaccionaron positivamente a esta sección, como se ilustró por los extractos de diario que siguen. Sin embargo, algunas preocupaciones que surgieron fueron:

- Algunos maestros estaban angustiados por la visión bastante simplista de las teorías científicas y su generación, las cuales se presentan en esta sección.
- Algunos estudiantes se confundieron con estas actividades y encontraron difícil vincular entre esta lección y otras lecciones de ciencia más ‘normales’.
- Otros estudiantes reaccionaron positivamente y vincularon las habilidades requeridas en esta sección con aquellas requeridas en otras áreas del currículo, por ejemplo, la Historia del Concilio de Escuelas
- Se encontraron algunos problemas en ‘la revisión de ideas’. Si el maestro tiene un cuadro muy rígido en su mente del punto final de esta revisión, puede ser difícil responder positivamente a los estudiantes las propias ideas de cómo ellos jugaron los juegos.

4.2. Comentarios de los estudiantes

“Ciencia Física. Hoy la lección fue muy buena, teníamos que averiguar el asesinato en un juego con muchas pistas, terminamos proponiendo la respuesta primero también fue una lección muy buena muy excitante. Agrupamos las pistas en grupos como nombres, tiempo y lugares que es la mejor manera en que funciona tu teoría.”

Darren

“Por suerte nosotros lo hicimos bien. Después de estar al frente para discutir cómo conseguiríamos nuestra respuesta. Pete dijo que empezáramos eliminando a las personas. Yo dije que empezáramos averiguando las pistas que eran útiles y las que no lo eran. El profesor empezó a dibujar un diagrama en el pizarrón de cómo pasó.

Pistas → Patrones → Ideas → Prueba → Idea Final.

Pistas – Las pistas que eran útiles para averiguar lo que pasó.

Patrones – Conectando pistas para conseguir una idea.

Idea – Lo que pensábamos que pasó.

Prueba – Para probar si las otras personas en nuestro grupo pensaban que la idea estaba bien.

Idea final – La idea final de lo que realmente pasó.

Alguien había escrito en su cuaderno lo que esto ha conseguido hacer con la Ciencia?”

Robert

4.3. Comentarios de los maestros

i) El juego descubriendo la regla

“Parece ir bastante bien – después de varias buenas suposiciones que uno dio parcialmente correctas, lo cual llevó a discutir la necesidad de probar las suposiciones y modificar o rechazar la original.”

ii) El juego del misterio del asesinato

“Mucha argumentación productiva después de un lento inicio. Estrategias de solución de problema no son tan bien desarrolladas a esta edad (11). El nivel de interés era alto. Sólo un grupo encontró la solución (la cual no confirmé). ¡La discusión continuó en el patio de recreo!”

“Una proporción del grupo de clase pensó el problema del asesinato extraño / faltó de dirección cuando fallaron al hacer / entender la conexión con la ciencia.”

iii) Ambos juegos

“Ellos disfrutaron el juego descubriendo la regla a un nivel superficial. Ellos sólo querían hacerlo bien. Yo lo encontré difícil sacar cómo ellos trabajaron la respuesta. El juego del asesinato – ellos empezaron muy interesados pero terminaron encontrándolo muy difícil. Sólo querían demostrar que las ideas de un individuo eran correctas al resto del grupo.”

“Las cosas fueron según el plan. Aproximadamente 20 minutos se permitieron para el juego del detective – yo pensaba que algunos grupos podían haber terminado en menos tiempo pero no fue así el caso – la clase entera estaba trabajando a marcha forzada.”

“Yo sentía que estaba bien – los estudiantes disfrutaron la nueva actividad y se ocuparon notablemente bien del elemento de la discusión. La palabra juego demostró ser una útil apertura.”

“Descubrir la regla para el juego de los nombres y el misterio del asesinato generó más entusiasmo del que yo esperaba. Propiamente, ningún grupo resolvió el misterio pero generó ideas buenas sobre la elaboración de teorías.”

iv) Revisión de ideas

“Los estudiantes tenían dificultad de expresar cómo habían tomado el problema pero vieron cómo sus acciones encajaban en el patrón: observación → organización → teoría → prueba → teoría final.”

5. Detalles prácticos

5.1. El juego del misterio del asesinato

El juego consiste en un juego de pistas de un asesinato. A cada grupo debe darse un juego completo de pistas montado separadamente en tarjetas. Se les debe pedir que se dirijan a las preguntas siguientes:

- ¿Quién fue el asesinado?
- ¿Quién fue el asesino?
- ¿Cuál fue el arma?
- ¿Dónde tuvo lugar el asesinato?
- ¿En qué momento ocurrió el asesinato?
- ¿Cuál fue el motivo?

Las pistas para este juego (proporcionadas abajo) deben cortarse y colocarse sobre tarjetas individuales. Cada grupo de discusión necesita un juego completo de pistas; para una clase de 24 estudiantes, que trabajan en grupos de cuatro, el maestro requerirá seis juegos completos de tarjetas. La única regla que los grupos deben obedecer cuando intenten resolver el misterio es: **no debe compartirse ninguna idea entre los diferentes grupos.**

Con cada grupo de estudiantes se puede usar cualquier estrategia que ellos deseen para proponer una respuesta. Hay varias maneras en las que el maestro podría responder a las teorías de los estudiantes sobre el asesinato. Dos posibilidades son:

- i) Los estudiantes pueden llevar sus respuestas al maestro, quien compara sus ideas con la respuesta ‘correcta’ (dada con las pistas) y simplemente dice a cada grupo si ellos están ‘correctos’ o ‘incorrectos’. Si un grupo viene con la respuesta ‘correcta’, se pide que no la digan a los otros grupos, pero sí que discutan entre ellos la manera en la que resolvieron el misterio. Si la respuesta del grupo es ‘incorrecta’ o parcialmente correcta, no les dice qué partes son correctas o incorrectas, pero les pide intentar de nuevo.
- ii) El maestro dice que la respuesta está en un sobre sellado que se abrirá cuando todos hayan propuesto una teoría. (De hecho, el sobre contiene una tarjeta en blanco.) Ya que los grupos hayan propuesto sus soluciones las registran en el papel del cartel. Cuando todos los grupos tengan una solución los carteles se despliegan y se comparan. Entonces el maestro abre el sobre; no hay respuesta ‘correcta’, sino muchas teorías, algunas de las cuales parecen ‘trabajar’ mejor que otras. Aunque un ejercicio que consume más tiempo que el primer acercamiento, este tipo de estrategias proporciona oportunidades para la discusión más detallada sobre la naturaleza de las teorías científicas y los criterios por los cuales nosotros juzgamos que las teorías son buenas.

5.2. Las pistas

1. El Sr. Black tenía una herida de bala en su muslo y una herida de cuchillo en su espalda, cuando se descubrió que estaba muerto.
2. El Sr. Patel le disparó a un intruso en el edificio donde él vivía a las 12:00 de la medianoche.
3. El conserje informó a la policía que vio al Sr. Black a las 12:15 a.m.
4. La bala que se tomó del muslo del Sr. Black coincidió con las del arma que poseía el Sr. Patel.
5. Sólo una bala se había disparado del arma del Sr. Patel.
6. Cuando el conserje vio al Sr. Black, el Sr. Black estaba sangrando ligeramente, pero no parecía una herida demasiado grave.
7. Se encontró un cuchillo con la sangre del Sr. Black en el jardín de la Srta. Petty.
8. El cuchillo que se encontró en el jardín de la Srta. Petty tenía las huellas digitales del Sr. Hall.
9. El Sr. Black había llevado a la quiebra el negocio del Sr. Patel al robarse a todos sus clientes.
10. El conserje vio a la esposa del Sr. Black yendo al departamento del Sr. Hall a las 11:30 p.m.
11. El conserje dijo que la esposa de Sr. Black frecuentemente salía del edificio con el Sr. Hall.
12. El cuerpo del Sr. Black se encontró en el parque.
13. El cuerpo del Sr. Black se encontró a las 1:30 a.m.
14. De acuerdo a un especialista médico que trabajaba con la policía, el Sr. Black llevaba muerto una hora cuando se encontró su cuerpo.
15. El conserje vio al Sr. Black ir al departamento del Sr. Hall a las 12:25 a.m.
16. El conserje se marchó a las 12:30 a.m.
17. Por la condición del cuerpo de Sr. Black, era obvio que había sido arrastrado una distancia larga.
18. La Srta. Petty vio al Sr. Black yendo al edificio del Sr. Hall a las 11:55 p.m.
19. La esposa del Sr. Black desapareció después del asesinato.
20. La policía no pudo localizar al Sr. Hall después del asesinato.
21. Cuando la policía intentó localizar Sr. Patel después del asesinato, descubrió que había desaparecido.
22. El conserje dijo que la Srta. Petty estaba en el vestíbulo del edificio cuando él se marchó.
23. A menudo, la Srta. Petty seguía al Sr. Black.
24. El Sr. Patel había dicho al Sr. Black que iba a matarlo.
25. La Srta. Petty dijo que nadie dejó el edificio entre 12:15 a.m. y 12:45 a.m.
26. Se encontraron manchas de sangre del Sr. Black en el automóvil del Sr. Hall.
27. Se encontraron manchas de sangre del Sr. Black en la alfombra del pasillo externo del Sr. Patel.

5.3. Una posible respuesta

Después de recibir una herida superficial de disparo del Sr. Patel, el Sr. Black fue al piso del **Sr. Hall** donde fue asesinado por el mismo **Sr. Hall** con un cuchillo a las 12:30 a.m. porque **el Sr. Hall estaba enamorado de la esposa del Sr. Black.**

6. Tarea 4: Plogs

Un ejercicio de tarea sobre las teorías científicas se da en esta sección.

Había dos misterios enigmáticos en un laboratorio de química de la escuela. Nadie podía resolverlos. Éstos eran los misterios:

1. Sin importar cuantas personas investigaran, no se encontraba pista alguna de por qué no se encontraba ningún lápiz.
2. El sacapuntas siempre estaba lleno de basura de lápiz.

La situación se puso tan seria que el director designó un grupo de maestros y estudiantes para averiguar qué estaba pasando. Ellos encontraron su tarea muy difícil porque todos estaban preocupados por pequeñeces sobre lo que les estaba pasando a los lápices. Finalmente, resuelven el misterio.

Esto es lo que ellos dijeron:

“Hay una explicación simple. Su teoría decía: “en las tarjas del laboratorio viven duendecitos. Por la noche, cuando nadie está allí, salen de las tarjas. Juntan todos los lápices y entonces van al sacapuntas y los muelen totalmente. Después, regresan a sus tarjas.”

Todos estábamos contentos con esta teoría porque podía explicar ambos misterios.

Preguntas:

1. ¿Cómo podrías probar esta teoría para averiguar si funciona?
2. Supón que no hay ningún **Plog** en las tarjas, ¿cómo explicarías los dos misterios?
3. ¿Puedes incluso estar seguro que no hay ningún **Plog**?

A2.2 Adaptación

A2.2.1 El juego “descubriendo la regla”

Como menciona el proyecto CLIS, para captar la atención del grupo se llevó a cabo el juego “descubriendo la regla”, pero se hizo utilizando una adaptación al lenguaje y las características de nuestro idioma. Esta actividad se realizó en la segunda sesión de clases y, dado que eran estudiantes de primer ingreso, esta actividad también permitió romper el hielo y familiarizarse con los nombres de sus compañeras y compañeros.

Desarrollo de la actividad

Se procedió de la manera descrita abajo, iniciando con el siguiente argumento:

—Hola, me llamo **Alejandro**. Estamos organizando una fiesta y necesitamos que cada quien lleve algo. Yo voy a llevar **agua**.

En ese momento se escribió el nombre y en seguida la palabra agua, marcando el renglón con una paloma (✓). Después, dirigiéndose a una de las estudiantes, se le preguntó:

— Dime tu nombre y qué vas a llevar.

La estudiante dudó un poco pero terminó diciendo algo que es común en una fiesta.

— Me llamo **Liliana** y voy a llevar **dulces**.

Se anotó en el pizarrón el nombre de Liliana y la palabra dulces, y se agregó:

— Mmm... no puedes ir a la fiesta.

Y se marcó el renglón de esta estudiante con una cruz (×). De esta manera se continuó preguntado a las y los demás estudiantes:

— Dime tu nombre y qué vas a llevar.

Se tuvo una lista más o menos así después de la participación de varias y varios estudiantes en la primera ronda:

<i>Alejandro</i>	<i>agua</i> ✓
<i>Liliana</i>	<i>dulces</i> ×
<i>Carla</i>	<i>chicharrones</i> ✓
<i>Fernanda</i>	<i>cerveza</i> ×
<i>Isabel</i>	<i>pastel</i> ×
<i>Ana</i>	<i>música</i> ×
<i>Anuar</i>	<i>globos</i> ×
<i>Gustavo</i>	<i>refrescos</i> ×
<i>Giselle</i>	<i>manzanas</i> ×
<i>Melisa</i>	<i>mercurio</i> ✓
<i>Montserrat</i>	<i>mangos</i> ✓

Al empezar a notar que aparecen quiénes sí irán a la fiesta, las y los estudiantes comenzaron a preguntarse porqué y a hacer suposiciones. Hay quienes descubrieron la regla y comenzaron a decir palabras que parecen no tener relación con la fiesta, pero que ayudaron a las y los demás a descubrir la regla.

Después de la primera ronda, a la mayoría le quedó claro que la regla es: llevar a la fiesta una cosa cuya letra inicial coincida con la letra inicial de su nombre. Esta primera parte duró 15 minutos.

Entonces, se hizo un breve comentario de que en la química, así como en la ciencia, las y los científicos a menudo tienen que descubrir algunos patrones, muy parecidos a descubrir la regla. Después se les pidió que escribieran en una hoja cómo fue su experiencia con este juego, qué hicieron para descubrir la regla y poder ir a la fiesta y en qué momento lo descubrieron.

A2.2.2 El juego “el misterio del asesinato”

Las pistas^(b)

1. El Sr. López tenía una herida de bala en su muslo y una herida de cuchillo en su espalda, cuando se descubrió que estaba muerto.
2. El Sr. Martínez le disparó a un intruso en el edificio donde él vivía a las 12:00 de la medianoche.
3. El conserje informó a la policía que vio al Sr. López a las 12:15 a.m.
4. La bala que se tomó del muslo del Sr. López coincidió con las del arma que poseía el Sr. Martínez.
5. Sólo una bala se había disparado del arma del Sr. Martínez.
6. Cuando el conserje vio al Sr. López, el Sr. López estaba sangrando ligeramente, pero no parecía una herida demasiado grave.
7. Se encontró un cuchillo con la sangre del Sr. López en el jardín de la Srta. Margarita.
8. El cuchillo que se encontró en el jardín de la Srta. Margarita tenía las huellas digitales del Sr. González.
9. El Sr. López había llevado a la quiebra el negocio del Sr. Martínez al robarse a todos sus clientes.
10. El conserje vio a la esposa del Sr. López yendo al departamento del Sr. González a las 11:30 p.m.
11. El conserje dijo que la esposa de Sr. López frecuentemente salía del edificio con el Sr. González.
12. El cuerpo del Sr. López se encontró en el parque.
13. El cuerpo del Sr. López se encontró a la 1:30 a.m.
14. De acuerdo a un especialista médico que trabajaba con la policía, el Sr. López llevaba muerto una hora cuando se encontró su cuerpo.
15. El conserje vio al Sr. López ir al departamento del Sr. González a las 12:25 a.m.
16. El conserje se marchó a las 12:30 a.m.
17. Por la condición del cuerpo de Sr. López, era obvio que había sido arrastrado una distancia larga.
18. La Srta. Margarita vio al Sr. López yendo al edificio del Sr. González a las 11:55 p.m.
19. La esposa del Sr. López desapareció después del asesinato.
20. La policía no pudo localizar al Sr. González después del asesinato.
21. Cuando la policía intentó localizar Sr. Martínez después del asesinato, descubrió que había desaparecido.
22. El conserje dijo que la Srta. Margarita estaba en el vestíbulo del edificio cuando él se marchó.
23. A menudo, la Srta. Margarita seguía al Sr. López.
24. El Sr. Martínez había dicho al Sr. López que iba a matarlo.
25. La Srta. Margarita dijo que nadie dejó el edificio entre 12:15 a.m. y 12:45 a.m.
26. Se encontraron manchas de sangre del Sr. López en el automóvil del Sr. González.
27. Se encontraron manchas de sangre del Sr. López en la alfombra del pasillo externo del Sr. Martínez.

Una posible respuesta

Después de recibir una herida superficial de disparo del Sr. Martínez, el Sr. López fue al piso del **Sr. González** donde fue asesinado por el mismo **Sr. González** con un cuchillo a las 12:30 a.m. porque **el Sr. González estaba enamorado de la esposa del Sr. López.**

^b Para facilitar la familiarización con los personajes, en las pistas se cambiaron los apellidos originales de la siguiente manera: Mr. Black por Sr. López, Mr. Patel por Sr. Martínez, Miss Petty por Srta. Margarita y Mr. Hall por Sr. González.

Anexo 3. Cuestionario previo a la actividad

Cuestionario previo a la actividad

Elaboró Alejandro Rojano Moral, MADEMS-Química 5a generación, marzo 2009.

El presente cuestionario forma parte de un proyecto de enseñanza de la química dentro del programa MADEMS-Química. Consta de dos problemas con los cuales se pretenden conocer las herramientas conceptuales y explicaciones que usas para resolverlos. Contesta de la manera en la que creas más conveniente y clara posible.

Problema 1. En el compuesto químico de fórmula CHFCIBr , el hidrógeno, el flúor, el cloro y el bromo están unidos al carbono. ¿Cómo crees que están acomodados cada uno de los átomos en la molécula? Haz un dibujo de cómo crees que es la molécula y explica por qué la has dibujado de esa manera. ¿Se podrían acomodar los átomos del compuesto mencionado de otra manera? Explica por qué y dibuja si es necesario.

Problema 2. La fórmula química del etano es C_2H_6 . ¿Cómo crees que están acomodados cada uno de los átomos en la molécula? Haz un dibujo de cómo crees que es la molécula y explica por qué la has dibujado de esa manera.

Anexo 4. Indicaciones de la actividad del carbono tetraédrico

- Discutir las ideas únicamente dentro del equipo de trabajo.
- Cada estudiante formará 7 bolas de plastilina: una negra, cuatro grises y dos rojas.
- **Pista 1.** Se sabe que el carbono (bola negra) siempre se une con cuatro hidrógenos (bolas grises) para formar una molécula. Forma una figura con la bola negra y las cuatro grises unidas por los extremos de los palillos. Observa las figuras que forman tus compañeros de equipo. Dibuja en la hoja de papel la figura que has formado.
- **Pista 2.** De la pista anterior, se sabe que al cambiar un hidrógeno (bola gris) por un cloro (bola roja) sólo se obtiene un producto, es decir, resulta indistinto cambiar cualquiera de los hidrógenos por el cloro. ¿Tu figura cumple con esta pista? De no ser así, vuelve a hacer una figura que cumpla con este requisito. Observa las figuras formadas por tus compañeros y discute con ellos al respecto. Dibuja en la hoja de papel la figura que has formado.
- **Pista 3.** De la pista anterior, se sabe que al cambiar otro hidrógeno (bola gris) por otro cloro (bola roja) sólo se obtiene un producto, es decir, es indistinto cambiar cualquiera de los hidrógenos restantes. ¿Tu figura cumple con este requisito? De no ser así, vuelve a hacer una figura que cumpla con este requisito. Observa las figuras formadas por tus compañeros y discute con ellos al respecto. Dibuja en la hoja de papel la figura que has formado.
- Discute con tus compañeros de equipo por qué llegaron a esa figura.
- Comparemos ahora con los otros equipos.

Anexo 5. Cuestionario posterior a la actividad

Cuestionario posterior a la actividad

Elaboró Alejandro Rojano Moral, MADEMS-Química 5a generación, marzo 2009.

El presente cuestionario forma parte de un proyecto de enseñanza de la química dentro del programa MADEMS-Química. Consta de dos problemas con los cuales se pretenden conocer las herramientas conceptuales y explicaciones que usas para resolverlos. Contesta de la manera en la que creas más conveniente y clara posible.

Problema 1. En el compuesto químico de fórmula CHFCIBr , el hidrógeno, el flúor, el cloro y el bromo están unidos al carbono. ¿Cómo crees que están acomodados cada uno de los átomos en la molécula? Haz un dibujo de cómo crees que es la molécula y explica por qué la has dibujado de esa manera. ¿Se podrían acomodar los átomos del compuesto mencionado de otra manera? Explica por qué y dibuja si es necesario.

Problema 2. La fórmula química del etano es C_2H_6 . ¿Cómo crees que están acomodados cada uno de los átomos en la molécula? Haz un dibujo de cómo crees que es la molécula y explica por qué la has dibujado de esa manera.

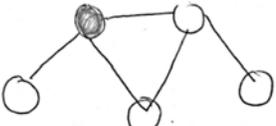
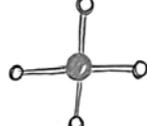
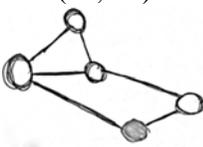
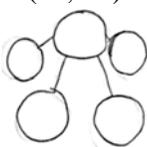
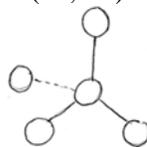
Anexo 6. Primera prueba piloto

Las y los estudiantes con los que se llevó a cabo la primera prueba piloto fueron de un grupo de la Facultad de Química de primer ingreso de Química General I, esto debido, por un lado, a la disponibilidad de dicho grupo por ser el profesor titular durante la práctica docente y con la suposición de que a ser de primer ingreso aún no estaban “contaminados” con los temas de la Facultad de Química y, por otro lado, por la poca disponibilidad de grupos del CCH Sur en los cuales llevar a cabo pruebas piloto. Las y los participantes fueron 12 mujeres y 6 hombres cuyas edades variaban alrededor de los 18 años. En esta primer prueba piloto se definieron tiempos en cada una de las partes que forman la actividad principal de este trabajo, así como también se hizo una categorización de la información obtenida de las y los estudiantes para poder hacer más adelante un análisis comparativo.

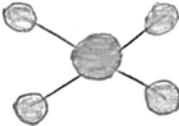
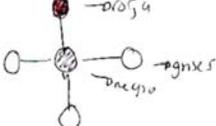
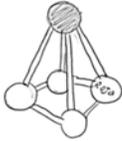
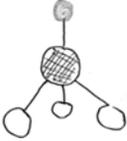
El carbono tetraédrico

Para la organización del grupo y las primeras dos indicaciones de la actividad no se tomaron más de 10 minutos.

Pista 1. Llevar a cabo la pista 1 requirió de 5 minutos aproximadamente y prácticamente no hay discusión en los equipos. Las figuras obtenidas por las y los estudiantes se clasificaron en bidimensionales y tridimensionales y en cada una se clasificaron en asimétricas (sin ejes de simetría) y simétricas (con al menos un eje de simetría) de la siguiente manera:

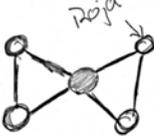
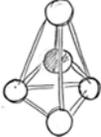
Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (5,6%) 	Simétrica no cuadrada (16,7%) 	Plano cuadrado (27,8%) 
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (11,1%) 	Pirámide cuadrada (16,7%) 	Tetraedro (22,2%) 

Pista 2. Llevar a cabo la pista 2 requirió aproximadamente 5 minutos y la discusión que hubo fue si era igual cambiar cualquier bola gris por la roja. Para varias y varios estudiantes resultaba obvio que en las figuras asimétricas no resultaba igual cambiar cualquiera de las bolas grises por la roja, ya que mediante rotaciones una bola gris no podía colocarse en el lugar de otra bola gris como sucedía en las figuras simétricas cuadradas y tetraédricas. De allí que las figuras asimétricas tienden a desaparecer de las propuestas. Las figuras obtenidas por las y los estudiantes se clasificaron de la manera mostrada abajo:

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (5,6 %)	Plano cuadrado (38,9 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (33,3 %)	Tetraedro (22,2 %)
			

Se puede ver que esta pista ayuda a eliminar todas las figuras asimétricas bidimensionales y tridimensionales, favoreciendo la transición hacia los cuadrados.

Pista 3. Al parecer este es el paso más importante para la construcción del carbono tetraédrico, ya que requirió de 25 minutos e incluso una estudiante no lo logró. Es en este punto en donde hubo más discusión, los miembros en cada equipo hacían sugerencias y probaban en sus figuras lo que sucedería al cambiar otra bola gris por otra bola roja, se esforzaban y al final una sonrisa o un grito indicaban que habían logrado dar solución a la pista 3. Las figuras resultantes se clasificaron de la siguiente manera:

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (0 %)
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (5,6 %)	Tetraedro (94,4 %)
			

Después se hizo una discusión sobre cómo fue que llegaron a la figura final. Algunos comentarios son: “Es la única figura que cumplía con las reglas.” “El modelo debe de seguir esos mismos patrones.”

Finalmente, se dio una breve explicación de lo que significa el carbono tetraédrico y las implicaciones que ha tenido en la química y fuera de ella. Algunos de los comentarios que hicieron las y los estudiantes sobre la actividad son:

Jared: “Me agradó el trabajar con plastilina ya que te desestrea.”

Areli: “Me pareció interesante la actividad, te ayuda a no quedarte con una sola idea, la imaginación en este caso fue importante. Me pareció divertida.”

Rocío: “Me pareció una actividad muy entretenida ya que pudimos aprender mediante una manera más didáctica.”

Leonardo: “Me pareció interesante armar modelos porque tenemos que seguir los patrones que nos pide y el modelo debe de seguir esos mismos patrones.”

Guadalupe: “La actividad me pareció entretenida, pero me gusta más la experimental.”

Christian: “No me gusta trabajar con plastilina. El ejercicio 3, fue para pensar y se me complicó.”

Conclusión de la primera prueba piloto

La actividad permite dirigir a las y los estudiantes hacia la construcción de la estructura tetraédrica del carbono, siendo el punto crítico la pista 3 dado que cognoscitivamente resulta complicado pasar de “lo plano” a lo tridimensional. Además, la formación de equipos es fundamental para alcanzar la estructura tetraédrica debido a que promovió la discusión entre las y los integrantes y la comparación de las ideas, como menciona Areli, sobre las estructuras, en especial sobre cómo corroborar que dos estructuras eran equivalentes mediante rotaciones. Finalmente, una idea que permite concluir esta primera prueba piloto es lo que expresa bastante bien Areli: “la imaginación en este caso fue importante” o el sentimiento químico como lo expresaría Meyer.

Anexo 7. Segunda prueba piloto

Con los resultados obtenidos en la primera prueba piloto, se diseñó un instrumento para evaluar la actividad y poder ver la influencia que tiene en la construcción del carbono tetraédrico en las y los estudiantes.

Por la misma razón de disponibilidad de grupos, la segunda prueba piloto se llevó a cabo con un grupo del CCH-Sur de sexto semestre (603) de Química III. Aunque el grupo estaba conformado por 24 estudiantes (10 hombres y 14 mujeres), participaron en toda la actividad sólo 15 (5 hombres y 10 mujeres) cuyas edades variaban alrededor de los 17 años. En esta segunda prueba piloto se trabajó en los instrumentos de evaluación de la actividad del carbono tetraédrico (**Anexo 3** y **Anexo 5**), de tal manera que se aplicó el instrumento antes de la actividad (el mismo día) y después de la actividad (una semana después). También se definieron tiempos para resolverlos. Antes de iniciar cada actividad, se les explicó a las y los estudiantes en qué consistía y con cuáles fines se hacía, así que la información que proporcionarían no afectaría su calificación ni se usaría para otros fines.

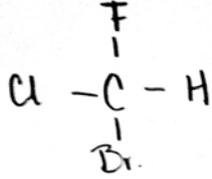
Cuestionario previo a la actividad

El instrumento está diseñado para arrojar dos tipos de resultados, aquellos en los que las y los estudiantes pueden aplicar directamente el carbono tetraédrico, un compuesto en cuya fórmula hay un carbono unido a cuatro elementos distintos (Problema 1), y aquellos en los que se tiene que extrapolar a estructuras más complejas, un compuesto en cuya fórmula hay dos carbonos unidos a seis hidrógenos (Problema 2).

La resolución del cuestionario previo a la actividad se hizo de manera individual aproximadamente en 20 minutos.

Problema 1. La manera en la que lo resuelven es intentando explicar por qué están unidos los átomos o qué los mantiene unidos, más que cómo están unidos espacialmente. También hablan de que el carbono debe cumplir con la regla del octeto y con los cuatro enlaces, algo que Vicente Talanquer^(a) llama principio intuitivo teleológico, es decir, sucede porque tiene un fin. También hay quien contesta que es posible acomodar los átomos de otra manera, ya que existen los isómeros, pero sigue utilizando la representación de plano cuadrado. Incluso Angélica explica que ve a la molécula tridimensional, dado que los átomos son tridimensionales, pero su representación también es plana. Los dibujos obtenidos muestran exclusivamente el uso de la representación cuadrada como se observa en la tabla de abajo:

^a Talanquer, V. "El químico intuitivo." *Educación Química*, 2005, 16(4), 114-122.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0%)	Simétrica no cuadrada (0%)	Plano cuadrado (100%)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0%)	Pirámide cuadrada (0%)	Tetraedro (0%)

Algunos de los comentarios que hicieron las y los estudiantes son:

Julio César: “Me imagino que están así, porque retomando lo del octeto, el carbono necesita de cuatro electrones para realizarse y cumplir su octeto, así que por eso le dibujé cuatro brazos al carbono y un brazo a cada elemento que se une al carbono.”

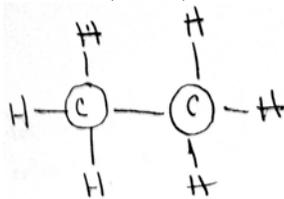
Mario Érick: “La acomodé así porque el carbono es el centro de la unión de los átomos, por lo cual cada uno debe de ir alrededor de ella.”

Angélica: “Lo imagino así ya que menciona que todos están unidos al carbono, la figura no la veo plana sino tridimensional, puesto que siempre cada átomo está en tres dimensiones.”

Christian: “Los elementos hidrógeno, flúor, cloro, bromo están unidos al carbono en sus cuatro enlaces distribuidos uno por enlace. No podría ser acomodado de otra manera ya que hay sólo cuatro enlaces.”

Jesús: “Pienso que están acomodadas de esta manera porque el carbono siempre forma cuatro enlaces los cuales se unen a los elementos. Sí se podrían colocar de otra manera ya que en la química existen los isómeros pero eso sí cuidando que el carbono siempre sea el centro.”

Problema 2. Al igual que en el problema 1, la solución que dan es explicando por qué están unidos los átomos o qué los mantiene unidos, en lugar de explicar cómo están unidos espacialmente. Lo complicado de este problema es la representación de una estructura más compleja en donde aparecen dos “átomos” de carbono. Los dibujos obtenidos muestran también el uso exclusivo de la representación cuadrada.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (100%)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (0%)

Algunos de los comentarios que hicieron las y los estudiantes son:

Julio César: “El carbono atrae a tres hidrógenos, cada uno para formar su octeto cabe aclarar que cada carbono se complementa el uno con el otro.”

Mario Érick: “Están acomodados así, porque el centro de las uniones es el carbono, claro que así es su estructura, por lo cual están adentro los carbonos con cuatro enlaces y están afuera los hidrógenos.”

Angélica: “Lo imagino así, pero en tres dimensiones, y a cada carbono le pongo tres hidrógenos ya que sólo puede hacer cuatro enlaces y un enlace carbono carbono, por lo tanto los demás tienen que ser de hidrógeno.”

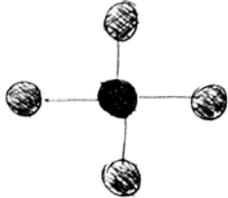
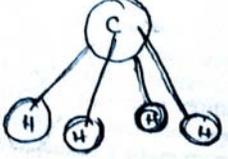
Christian: “Los dos carbonos está unidos entre sí por un enlace y, ya que cada uno tiene cuatro, los tres restantes de cada carbono son ocupados por tres hidrógenos en cada uno. Los hidrógenos quedan distribuidos en la parte superior, inferior y lateral de cada carbono ya que estos están enlazados por el centro.”

Jesús: “Pienso que se unen así porque como mencioné en el problema anterior el carbono forma cuatro enlaces y a éstos se adhieren hidrógenos así mismo existe un enlace entre carbonos continuos o bueno al menos yo no podría ver otra forma de verlos.”

El carbono tetraédrico

Gracias a la primera prueba piloto, en esta segunda prueba piloto ya se tenían estimados los tiempos que se tomarían en cada parte de la actividad del carbono tetraédrico, así que se dedicaron 10 minutos para la organización del grupo y dar las primeras dos indicaciones de la actividad.

Pista 1. Se dedicaron 5 minutos para resolver la pista 1. Las figuras obtenidas por las y los estudiantes se clasificaron en las categorías que se hicieron en la primera prueba, los resultados son los siguientes:

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (6,7 %)	Plano cuadrado (73,3 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (6,7 %)	Tetraedro (13,3 %)
			

Algunos de los comentarios de las y los estudiantes son los siguientes:

Simétrica no cuadrada

Adriana: “Bueno, pues primero tomé el carbono que es el centro de todo compuesto orgánico y tiene cuatro átomos de hidrógeno pues este compuesto es el metano.”

Plano cuadrado

Gabriela: “En el centro se encuentra un átomo de carbono y a su alrededor se enlazan a él, cuatro hidrógenos.”

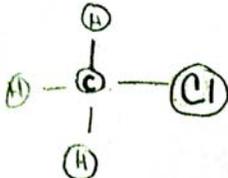
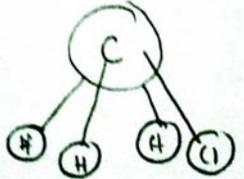
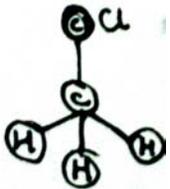
Pirámide cuadrada

Lucía: “La molécula de carbono está unida a cuatro átomos de hidrógeno.”

Tetraedro

Angélica: “Todas las moléculas de cualquier tipo son de forma tridimensional por lo tanto debe tener cuatro enlaces, el carbono es el centro y los hidrógenos son los cuatro enlaces.”

Pista 2. Se dedicaron 5 minutos para resolver la pista 2. Al igual que en la primera prueba piloto, con esta pista se favorecen la transición hacia los cuadrados y la respuesta a esto la da un estudiante, refiriéndose a su cuadrado, al decir que al cambiar un hidrógeno por un cloro la figura sigue siendo la misma, lo que implicaría que, sin importar cuál hidrógeno sustituya, el estudiante comprende que mediante rotaciones no puede distinguir cuál sustituyó, en otras palabras, los hidrógenos en la representación cuadrada son equivalentes. Las figuras obtenidas por las y los estudiantes se clasificaron de la manera mostrada abajo:

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (80,0%) 
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (6,7 %) 	Tetraedro (13,3%) 

Algunos de los comentarios de las y los estudiantes son los siguientes:

Plano cuadrado

Julio César: “Se cambió un hidrógeno por un cloro pero sigue siendo la misma forma.”

Pirámide cuadrada

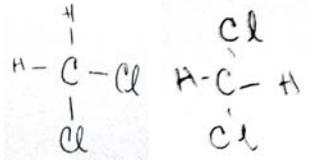
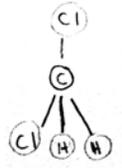
Lucía: “La molécula ahora se encuentra unida a tres átomos de hidrógeno y uno de cloro.”

Tetraedro

Angélica: “Mi figura cumple con las dos pistas y de forma tridimensional.”

Pista 3. Dado que se identificó que éste es el paso más importante para la construcción del carbono tetraédrico, se dedicaron 30 minutos para la resolución de la pista 3. Aunque la discusión fue menor que en la primera prueba piloto, se observó que hay más esfuerzo que con las otras pistas, incluso había momentos de silencio y seriedad.

Como sucedió con la primera prueba piloto, con esta pista se favorece la transición hacia los tetraedros y la respuesta la dan de nuevo las y los estudiantes: al utilizar los cuadrados (planos o pirámides) se dan cuenta de que no se cumple con la pista 3, ya que al sustituir los dos hidrógenos por los dos cloros se pueden obtener dos formas que no son equivalentes aun aplicándole rotaciones, por lo tanto, tienen que sugerir otra estructura y ésta, después de un gran esfuerzo, resulta ser el tetraedro. En el tetraedro, sin importar cuáles dos hidrógenos se sustituyan por los dos cloros, la o el estudiante comprende que mediante rotaciones no puede distinguir cuáles sustituyó, en otras palabras, los hidrógenos en la representación tetraédrica son también equivalentes y tienen más simetría ya que hay más ejes sobre los cuales hacer rotaciones, aunque al parecer, las y los estudiantes no ven esa mayor simetría, pero la intuyen al momento de comparar las diferentes maneras de hacer las rotaciones. Las figuras resultantes fueron:

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (6,7 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (93,3 %)
			

Algo muy importante de notar es que la única estudiante que no logra llegar al tetraedro, al menos logra llegar a la conclusión de que en la forma de plano cuadrado hay dos formas de sustituir los dos hidrógenos por los dos cloros, por lo que si hubiera tenido un poco más de tiempo, seguramente lo hubiera logrado con las mismas conclusiones.

Los resultados obtenidos en esta prueba piloto, muestran que a las y los estudiantes a los que se aplica la actividad se les puede ayudar diciéndoles que las figuras que hacen deben ser equivalentes mediante rotaciones, eso quizá les ayude a una más rápida transición hacia el carbono tetraédrico.

Algunos de los comentarios de las y los estudiantes son los siguientes:

Plano cuadrado

Samara Nayeli: “Hay dos maneras diferentes de formar este compuesto.”

Tetraedro

Jesús: “[El plano cuadrado] ya no cumple los requisitos porque cambian los productos. [En el tetraedro] el estructuramiento de las moléculas se puede alterar girando la molécula para volver a

la figura 1 no le queda lo mismo el cloro arriba o el hidrógeno siempre se puede obtener para rotarla.”

Julio César: “Hay tres formas de acomodar el cloro pero sigue siendo lo mismo. Conclusión: si se mueve sigue siendo lo mismo.”

Jazmín Margarita: “Así hay dos opciones y se afecta el orden [en el plano cuadrado], ya que se forman dos isómeros, es decir con los mismos componentes: dos cloros, dos hidrógenos y un carbono pero la forma no es la misma. Ésta [el tetraedro] es la única opción pues la forma real de los átomos es piramidal, sólo que como las figuras anteriores que dibujé son planas porque es más fácil su escritura en una hoja; sin embargo la piramidal es más real, incluso los modelos atómicos son así. Y así de esta forma cumple con las pistas anteriores.”

Para cerrar la actividad, se dio la explicación de lo que significa el carbono tetraédrico y sus implicaciones dentro y fuera de la química y se pidió a las y los estudiantes su comentario sobre la actividad.

Algunos de los comentarios sobre la actividad son:

Pamela: “Pues al principio resultó algo confusa la actividad pero conforme fuimos practicando el ‘acomode’ de las bolitas pues fue más fácil imaginar otra estructura. Practica la plastilina.”

Jesús: “Se me hizo muy interesante y divertida esta práctica ya que las moléculas se pueden acomodar de diferentes [formas] sin alterar el compuesto. Eso es lo que aprendí.”

Angélica: “La actividad me pareció muy interesante y divertida ya que así aprendemos mucho sobre cómo se acomodan los átomos y la apariencia que tienen en la figura tridimensional.”

Lucía: “Me fue muy difícil hacer la pista 3 aunque tenía una idea pero no la consolidé.”

Julio César: “Pues estuvo súper divertido, estas actividades hacen que el estudiante comprenda más la materia.”

Yoselín: “Esta actividad me pareció interesante ya que nos puso a pensar en el acomodamiento, además de que esta figura y otras más no son planas, las hacemos planas porque así nos es más fácil y estuvo interesante con plastilina.”

Gabriela: “Me gustó la actividad ya que fue entretenido, además de que el aplicador fue muy amable y accesible, explicó claramente y tuvo la disposición con nosotros. No me pareció complicada la actividad pues ya había tenido una experiencia parecida sobre todo por mis hermanos mayores. Gracias por jugar con nosotros !!! => Suerte!!!”

Jazmín Margarita: “Cuando manejas dimensiones, como con la bolita de plastilina es más fácil entender que las moléculas son tridimensionales. La forma piramidal de los tetraedros da sólo una opción de acomodo.”

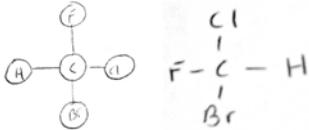
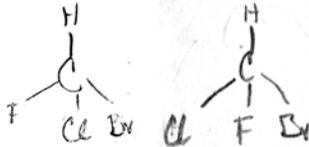
Cuestionario posterior a la actividad

Dado que es el mismo cuestionario que el previo a la actividad, se esperan los mismos tipos de resultados pero con una frecuencia diferente, afectados por la actividad. La diferencia de una semana permitiría además ver la primera etapa de la asimilación de la actividad, es decir, la adquisición del significado subordinado de lo que es el carbono tetraédrico.

La resolución del cuestionario posterior a la actividad se hizo de manera individual aproximadamente en 20 minutos.

Problema 1. Aunque en la manera en la que lo resuelven siguen explicando por qué están unidos los átomos o qué los mantiene unidos, ya se observan explicaciones y representaciones

espaciales tridimensionales incluso logran observar que al ser cuatro sustituyentes diferentes sobre el carbono, se pueden acomodar de dos maneras distintas y los nombran isómeros, por supuesto, es uno de los temas visto en Química III, pero que en el cuestionario previo no salió a flote. Los dibujos obtenidos muestran ya el uso de la representación tetraédrica además de la cuadrada como se observa en la tabla de abajo:

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (60 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (40 %)
			

Algunos de los comentarios que hacen las y los estudiantes en este problema son:

Plano cuadrado

Jesús: “Bueno, pienso que se acomodan así primero que nada porque el único elemento que puede formar cuatro enlaces es el carbono los demás forman uno y si se podrían acomodar de otra manera simplemente rotando los elementos eje.”

Julio César: “Porque el carbono tiene cuatro electrones en su último nivel y necesita de otros cuatro enlaces para formar su octeto, así que por eso le caben los otros cuatro elementos.”

Víctor Hugo: “Porque el carbón así tiene sus cuatro enlaces, aunque podrían formarse isómeros. Sí se podrían formar de otra manera.”

Tetraedro

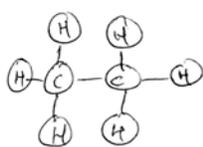
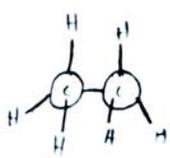
Angélica: “La dibujé así porque nos dice en qué orden se tienen que acomodar los átomos. Sí se puede acomodar de otra manera, según yo así (fig 2) y formaría un compuesto diferente, por la isomería.”

Adriana: “Porque estos elementos a partir de la unión carbono nos dan un compuesto. Todos estos elementos tienen que llevar un orden en la figura o de la manera en que acomodes a los átomos pues como es un compuesto de carbono, se pueden acomodar de diferente manera y el compuesto es un isómero o se cambiaría cada elemento.”

Gabriela: “Podría ser así, ya que tienen los mismos elementos que conforman CHFClBr , sin embargo, es probable que los elementos (átomos) se acomoden de otra manera, lo dibujé así porque la molécula se encuentra en tres dimensiones. Se han acomodado los átomos de otro modo, quedando cerca ahora el H y el F; el H lineal con el Cl. Sin embargo dependiendo el orden o acomodo de los átomos puede ser el compuesto mencionado u otro.”

Problema 2. Al igual que en el problema 1, en la resolución persisten las explicaciones de por qué están unidos los átomos o qué los mantiene unidos, en lugar de explicar cómo están unidos espacialmente, pero también aparecen explicaciones y representaciones espaciales

tridimensionales. Sin embargo, dado que problema es la representación de una estructura más compleja la aparición del carbono tetraédrico tiene menor frecuencia.

Bidimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Simétrica no cuadrada (0 %)	Plano cuadrado (80 %)
			
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica (0 %)	Pirámide cuadrada (0 %)	Tetraedro (20 %)
			

Algunos de los comentarios que hacen las y los estudiantes en este problema son:

Plano cuadrado

Angélica: “Lo dibujé así, porque dice que tenemos dos átomos de carbono y seis de hidrógeno, por lo tanto se tienen que distribuir en los dos carbonos.”

Julio César: “Se repite lo de arriba, sólo que aquí es un carbono con otro carbono, y necesitan tres enlaces más cada carbono para formar su octeto.”

Christian: “Por sus enlaces que son cuatro de cada carbono. En tres de ellos están los hidrógenos y el cuarto lo ocupan para enlazarse entre los carbonos.”

Tetraedro

Yoselín: “Tiene dos carbonos y estos a su vez tienen enlaces de hidrógeno. La dibujé de esa manera porque siempre nos han mostrado las figuras de átomos planas y alargadas y con ramificaciones.”

Gabriela: “Me imagino que es así, ya que como nos explicó, la molécula es en tres dimensiones (tienen volumen) por lo que traté de representarlo, además este dibujo representa lo que la fórmula.”

Jazmín: “Los carbonos al centro pues son los que hacen cuatro enlaces, los H como sólo tienen uno van alrededor. Este es un modelo molecular, sin embargo no son así, los enlaces no son rayitas, son electrones ganados, cedidos o compartidos que unen a las moléculas.”

Conclusión de la segunda prueba piloto

En la segunda prueba piloto, el desarrollo de la actividad del carbono tetraédrico tiene el mismo comportamiento que en la primera (ver tabla siguiente), pero las diferencias en la frecuencia no pueden atribuirse a la influencia de la edad entre el primero y segundo grupo, ya que al ser grupos pequeños (18 y 15 estudiantes, respectivamente) no son representativos.

Lo que sí puede generalizarse en ambas pruebas piloto es la tendencia, la cual se dirige inicialmente hacia la desaparición de representaciones simétricas no cuadradas y la aparición de representaciones cuadradas al pasar de la pista 1 a la pista 2, sin afectarse la frecuencia de las

estructuras tetraédricas, y posteriormente hacia la desaparición de las representaciones cuadradas (plano cuadrado y pirámide cuadrada) y la aparición súbita de las representaciones tetraédricas.

Otro punto que también puede generalizarse es que la formación de equipos es fundamental para alcanzar las representaciones tetraédricas debido a que, como ya se mencionó en la primera prueba piloto, promueve la discusión entre las y los integrantes y la comparación de las ideas sobre las representaciones y corroboración de la equivalencia entre dos estructuras mediante rotaciones.

	Representación utilizada	Primera prueba piloto			Segunda prueba piloto		
		Pista 1	Pista 2	Pista 3	Pista 1	Pista 2	Pista 3
Bidimensional (Frecuencia)	Asimétrica	5,6 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Simétrica no cuadrada	16,7 %	5,6 %	0 %	6,7 %	0 %	0 %
	Plano cuadrado	27,8 %	38,9 %	0 %	73,3 %	80,0 %	6,7 %
Tridimensionales (Frecuencia)	Asimétrica	11,1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Pirámide cuadrada	16,7 %	33,3 %	5,6 %	6,7 %	6,7 %	0 %
	Tetraédro	22,2 %	22,2 %	94,4 %	13,3 %	13,3 %	93,3 %

En cuanto a la comparación de la resolución del cuestionario previo y posterior a la actividad, se observa que comienzan a utilizar el concepto del carbono tetraédrico en la representación y resolución de los problemas. Sin embargo, en representaciones más complicadas (con dos átomos de carbono) sigue predominando la representación de plano cuadrado, como se observa en la tabla de abajo. Lo anterior debido quizá a que cognitivamente resulta más complicado hacer representaciones tridimensionales de estructuras más complejas.

Representación utilizada	Problema 1		Problema 2	
	Previo	Posterior	Previo	Posterior
Plano cuadrado	100 %	60 %	100 %	80 %
Tetraedro	0 %	40 %	0 %	20 %

Algo también importante que muestra esta prueba piloto es que las representaciones tetraédricas persisten aún después de una semana de realizada la actividad del carbono tetraédrico y, más aún, que éstas aparecen en representaciones con dos átomos de carbono y no sólo en representaciones con uno solo.

Finalmente, aunque no es objetivo de este trabajo, hay que mencionar que dentro de los comentarios que hacen las y los estudiantes existe confusión entre compuesto y elemento y entre molécula y átomo. Quizá es ésta la razón por la cual aparecen algunos comentarios de que la actividad resulta confusa al no tener claros los conceptos ya mencionados.