



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Los modelos y el modelaje científico para la enseñanza y el aprendizaje del concepto geometría molecular**

Models and scientific modeling for learning and teaching of the  
molecular geometry concept

**Jhon Elkin García Loaiza**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales  
Manizales, Colombia

2018

# **Los modelos y el modelaje científico para la enseñanza y el aprendizaje del concepto geometría molecular**

**Jhon Elkin García Loaiza**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales**

Director:  
**MAGISTER JORGE EDUARDO GIRALDO ARBELAEZ**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales  
Manizales, Colombia

2018

## **Dedicatoria**

*A mis padres e hijo del alma Miguel Angel,  
por ser el motor para alcanzar todos los  
sueños y metas, a mis estudiantes por hacer de  
la labor docente un acto de amor lleno de  
muchas satisfacciones.*

## **Agradecimientos**

A Dios por darme fortaleza y constancia en los momentos de debilidad, y guiar siempre mis pasos.

A mi padre Carlos Augusto, quien con su sabiduría y experiencia despertó en mí, la ilusión hacia la búsqueda y la vivencia del significado de los valores.

A mi madre Luz Marina, que gracias a su fuerza, su compromiso desinteresado, su amor incondicional y su deseo de progresar, inculcó en mí el sueño de ser un profesional de la educación.

Agradezco al MSc. Jorge Eduardo Giraldo Arbeláez, por sus clases, asesorías y grandes aprendizajes durante el estudio de la maestría y como director del presente trabajo.

A la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, a nuestro programa de maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, por tantos aprendizajes, principios y ética profesional.

A los *educandos* porque cada día aprendí algo nuevo de ellos, por que hicieron que reconociera mis habilidades y también sensibilidad, por aumentar mi amor hacia la profesión docente y por ser mi motivo de inspiración.

## **Resumen**

En el presente trabajo se diseñó una secuencia didáctica para la enseñanza y el aprendizaje del concepto geometría molecular en los estudiantes de grado noveno del Colegio Instituto para la Ciencia. Con base en la aplicación de un instrumento de exploración de ideas previas fundamentado en una revisión histórica epistemológica del concepto, se identificaron las ideas previas y los obstáculos epistemológicos de los estudiantes en relación con la geometría molecular, lo cual permitió definir la respectiva secuencia de actividades de acuerdo con la propuesta de Chamizo y García sobre la enseñanza basada en los modelos y el modelaje científico, como estrategia didáctica para superar dichos obstáculos epistemológicos y lograr aprendizajes a profundidad. Se aplicó un cuestionario final y se procedió a realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos, concluyendo el logro de aprendizajes profundos sobre la geometría molecular a partir de la aplicación de la secuencia didáctica.

**Palabras clave:** Geometría molecular, modelos, modelaje científico, enseñanza y aprendizaje, obstáculos epistemológicos.

## **Abstract**

In this paper a didactic sequence was designed for teaching and learning of molecular geometric concept in ninth grade students from the Instituto para la Ciencia high school. From the application of an instrument for the exploration of previous ideas based on historical-epistemological review of the concept. Previous ideas and students' epistemological obstacles in relation to molecular geometry were identified, this information allowed to define the respective strategies and activities according to the proposal of Chamizo & García about the teaching based on the models and scientific modeling as a didactic strategy to overcome these epistemological obstacles and achieve in-depth learning. A final questionnaire was applied and then a comparative analysis of the results obtained was carried out, concluding the achievement of deep learning about molecular geometry from the application of the didactic sequence.

**Keywords:** Molecular geometric, models, scientific modeling, teaching and learning, epistemological obstacles.

# Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen.....	V
Lista de figuras.....	IX
Lista de tablas.....	XII
Lista de Gráficas.....	XIII
Introducción.....	15
1. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA.....	17
1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general.....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Historia y epistemología del concepto geometría molecular.....	21
2.2 Ideas previas y obstáculos epistemológicos.....	28
2.3 Los modelos y la modelación científica.....	33
2.3.1 Los modelos y su tipología.....	33
2.3.2 La modelación.....	38
2.3.3 La enseñanza basada en los modelos y el modelaje científico.....	40
2.4 Aprendizajes a profundidad.....	44
3. METODOLOGÍA.....	47
3.1 Enfoque del trabajo.....	47
3.2 Contexto del trabajo.....	47
3.3 Etapas del trabajo.....	48
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	56
4.1 Análisis del pretest.....	56
4.2 Comparación pretest vs postest.....	79

5. SECUENCIA DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO GEOMETRÍA MOLECULAR.....	96
5.1 Objetivos de la secuencia.....	96
5.2 Secuenciación de actividades.....	97
5.2.1 Introducción a los modelos y el modelaje científico.....	97
5.2.2 Refuerzo y nivelación de conceptos asociados.....	102
5.2.3 Modelos y modelaje en la geometría molecular.....	105
5.2.4 Introducción a nuevos conocimientos: análisis del modelo aceptado por la Comunidad científica.....	109
5.2.5 Uso del PhET construye una molécula y contraste entre los modelos realizados y el modelo aceptado por la comunidad científica.....	117
5.2.6 Aplicación y evaluación.....	121
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
6.1 Conclusiones.....	126
6.2 Recomendaciones.....	127
A. Anexo: Exploración de ideas previas y obstáculos epistemológicos del concepto Geometría Molecular.....	129
B. Anexo: Fotografías.....	135
Bibliografía.....	139
Cibergrafía.....	145



## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Modelos materiales bidimensionales sobre moléculas de ácido láctico.....	22
Figura 2. Modelo material bidimensional sobre modelos materiales tridimensionales de átomos de carbono tetraédrico construidos por Van't Hoff en 1884.....	23
Figura 3. Formas moleculares de un modelo de puntos sobre la esfera.....	26
Figura 4. Formas moleculares basadas en la disposición de dos hasta seis pares de electrones en la capa de valencia.....	28
Figura 5. Tipos de modelos.....	35
Figura 6. Esquema sobre modelos y modelaje.....	39
Figura 7. Aplicación del instrumento de exploración de ideas previas.....	51
Figura 8. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 1.....	66
Figura 9. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 1.....	67
Figura 10. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 2.....	67
Figura 11. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 2.....	68
Figura 12. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 3.....	68
Figura 13. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 3.....	69
Figura 14. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 4.....	69
Figura 15. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 4.....	70
Figura 16. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 5.....	70
Figura 17. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 5.....	71
Figura 18. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 6.....	71
Figura 19. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 6.....	72
Figura 20. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 1, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	85
Figura 21. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 1, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	85

Figura 22. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 2, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	86
Figura 23. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 2, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	87
Figura 24. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 3, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	87
Figura 25. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 3, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	88
Figura 26. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 4, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	88
Figura 27. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 4, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	89
Figura 28. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 5, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	89
Figura 29. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 5, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	90
Figura 30. Modelo explicativo sobre la molécula del H <sub>2</sub> O por el estudiante 6, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	90
Figura 31. Modelo explicativo sobre la molécula del CO <sub>2</sub> por el estudiante 6, luego de la aplicación de la secuencia didáctica.....	91
Figura 32. Diapositivas utilizadas para la explicación de conceptos como le y del octeto y estructuras de Lewis.....	103
Figura 33. Estudiantes realizando la actividad lúdica sobre las estructuras de Lewis.....	104
Figura 34. Micrografía electrónica de barrido coloreada que muestra los bastones (amarillo) y los conos (azul) De la retina.....	110
Figura 35. Diapositivas utilizadas para la explicación del concepto geometría molecular y el modelo de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia.....	116
Figura 36. Página web de simulaciones interactivas PhET, Universidad de Colorado....	118
Figura 37. Ventana inicial PhET forma de una molécula (Moléculas reales).....	118
Figura 38. Ventana PhET , moléculas reales.....	119

Figura 39. Ventana inicial PhET forma de una molécula (Moléculas reales).....	119
Figura 40. Ventana PhET , construye modelos.....	120
Figura 41. Estudiantes realizando actividad de introducción a modelos y modelaje científico.....	135
Figura 42. Modelos propuestos para explicar la acción del pegamento.....	135
Figura 43. Estudiantes realizando actividad sobre modelos moleculares.....	136
Figura 44. Estudiantes realizando actividad sobre modelos moleculares.....	136
Figura 45. Estudiantes realizando actividad sobre modelos moleculares.....	137
Figura 46. Estudiantes realizando actividad sobre modelo TRPECV.....	138
Figura 47. Estudiantes realizando actividad sobre modelación en el PhET “Forma de una molécula”.....	138
Figura 48. Estudiantes observando sustancias a modelar.....	138

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Arreglos de dos a seis pares de electrones.....	25
Tabla 2. Disposición de los pares de electrones tipo $AX_nE_m$ .....	26
Tabla 3. Ideas previas y/u obstáculos epistemológicos sobre enlace químico, enlace covalente.....	31
Tabla 4. Diferencias en cómo son entendidos los modelos por los aprendices y los expertos.....	37
Tabla 5. Etapas y sub etapas en el modelaje científico.....	42
Tabla 6. Comparación entre estrategia profunda y superficial.....	46
Tabla 7. Síntesis de fases, objetivos y respectivas actividades.....	54
Tabla 8. Resultados de los modelos sobre el pegamento.....	98
Tabla 9. Pasos para llegar a los modelos propuestos.....	99
Tabla 10. Comparación entre los modelos realizados y los objetos en la caja (realidad).....	102
Tabla 11. Ejercicio electrones de valencia y estructuras de Lewis.....	104
Tabla 12. Modelos macroscópicos y sub-microscópicos para diferentes compuestos....	107
Tabla 13. Pasos para llegar a los modelos propuestos sobre los compuestos observados.....	108
Tabla 14. Lista de geometrías moleculares según el modelo de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia.....	114
Tabla 15. Ejercicio con bombas, como analogía en la geometría molecular.....	116
Tabla 16. Contrastación y comentarios entre modelos realizados antes y después de estudiar la TRPECV.....	121
Tabla 17. Ejercicio evaluativo sobre la TRPECV.....	124
Tabla 18. Ejercicio evaluativo sobre la TRPECV y los ángulos de enlace.....	125

## Lista de Gráficas

	<b>Pág.</b>
Gráfica 1. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 1.....	57
Gráfica 2. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 2.....	58
Gráfica 3. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 3.....	60
Gráfica 4. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 4.....	61
Gráfica 5. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 5.....	62
Gráfica 6. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 6.....	63
Gráfica 7. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 7.....	65
Gráfica 8. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 8.....	73
Gráfica 9. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 9.....	75
Gráfica 10. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 10.....	76
Gráfica 11. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 11.....	77
Gráfica 12. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 1.....	79
Gráfica 13. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 2.....	80
Gráfica 14. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 3.....	81

Gráfica 15. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 4.....	82
Gráfica 16. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 5.....	83
Gráfica 17. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 6.....	83
Gráfica 18. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 7.....	84
Gráfica 19. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 8.....	92
Gráfica 20. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 9.....	93
Gráfica 21. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 10.....	94
Gráfica 22. Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 11.....	95

## Introducción

De acuerdo con diferentes investigaciones y la práctica docente, se ha constatado la dificultad de los estudiantes por el aprendizaje de la química, esto debido al lenguaje simbólico y abstracto que se requiere en su estudio y aprendizaje, así como su relación con conceptos de las matemáticas y de la física, lo cual genera cierta apatía y resistencia al estudio de esta asignatura. Es así como se requiere una reflexión desde la didáctica de la química que permita el desarrollo y la implementación de estrategias de enseñanza, basadas en el contexto de los estudiantes, sus intereses, los fenómenos de la cotidianidad y la era digital con la que interactúan y se desarrollan en la actualidad.

Según Chamizo y García (2010) “para la enseñanza y el aprendizaje efectivo de las ciencias se debe realizar en el salón de clases lo que hacen los científicos, que en el caso de la química es modelar la estructura de la materia posible” (p.18). De acuerdo con lo anterior y con el objetivo principal de alcanzar aprendizajes profundos sobre el concepto geometría molecular, en el presente trabajo se muestra el diseño y aplicación de una secuencia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico, apoyados en la propuesta de Chamizo y García (2010) además, en las etapas y sub etapas para el modelaje científico de Justi (2006), para estudiantes de grado noveno del colegio Instituto para la Ciencia. Así como el diseño y aplicación de un instrumento de ideas previas a partir de la revisión histórica y epistemológica del concepto geometría molecular.

La característica principal de esta secuencia se basa en el desarrollo de competencias y habilidades del pensamiento necesarias para alcanzar aprendizajes en profundidad, a través de la reproducción del trabajo realizado por los científicos donde se generan predicciones, hipótesis, lectura crítica, exposición de modelos explicativos, se potencia la argumentación, se realizan comparaciones con los modelos aceptados por la comunidad científica y se generan conclusiones finales.

Izquierdo citado por (Chamizo y García, 2010) apoya estas estrategias cuando menciona:

La enseñanza de la química planificada como actividad de modelización de los fenómenos permitiría recuperar el significado práctico y axiológico de los conceptos químicos, puesto que éstos sólo dicen cómo es el mundo a partir de lo que se puede hacer en él. Si los fenómenos que se escogen son relevantes desde un punto de vista social este nuevo enfoque de la enseñanza sería adecuado para la alfabetización científica de la ciudadanía, permitiendo introducir las entidades científicas a partir del conocimiento profundo de fenómenos en los que se puede intervenir. (p.18)

Por consiguiente, se realizó un análisis de resultados antes y después de la aplicación de la secuencia didáctica a partir de un enfoque mixto que involucra aspectos cuantitativos a partir de la conversión de la información obtenida en porcentajes y sus respectivas gráficas, así como aspectos cualitativos con base en los modelos explicativos plasmados en los modelos materiales en dos y tres dimensiones elaborados por los estudiantes, finalmente se realizó un estudio comparativo para determinar la relación entre la aplicación de la estrategia y el alcance de aprendizajes profundos de los estudiantes sobre el concepto geometría molecular.

El trabajo contiene 6 capítulos, en el primer capítulo se presenta la propuesta, justificación y los objetivos. El capítulo dos contiene el marco teórico el cual incluye una revisión histórica epistemológica del concepto geometría molecular, los modelos y el modelaje científico, ideas previas y obstáculos epistemológicos y el aprendizaje profundo. El capítulo tres describe ampliamente la metodología utilizada, en el capítulo cuatro se exponen los resultados del pretest y el postest y su respectivo análisis, el capítulo cinco exhibe la secuencia didáctica, su diseño, objetivos y actividades, finalmente en el capítulo seis se redactan las conclusiones y recomendaciones.



# 1. Planteamiento de la propuesta

## 1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad la Enseñanza de las Ciencias Naturales y en especial de la Química, ha generado el interés de muchos educadores por investigaciones con miras a facilitar procesos que permitan un verdadero aprendizaje de los conceptos enseñados. De acuerdo con lo anterior, una de las principales dificultades y que hace a la enseñanza de la Química una tarea compleja, es porque se trabaja de manera simultánea en tres niveles representacionales: Macro, submicro y simbólico (Galiano, 2014). De igual manera Talenquer (Citado por Muñoz, 2010) afirma que la enseñanza de la química, es una tarea que no resulta sencilla, debido a que los estudiantes tienen que aprender leyes, conceptos, modelos y lenguajes altamente simbólicos, así como establecer conexiones entre ellos con la finalidad de representar lo no observable, es decir, la disciplina tiene un alto nivel de abstracción.

Sin embargo y conociendo estas particularidades la enseñanza continúa siendo un proceso mecánico donde los profesionales de la educación presentan los conceptos basados en estrategias convencionales, la mayoría de veces con las mismas con las que han sido formados o consideran aprendieron el concepto. Galiano (2014) indica que los profesores reproducen la forma en que ellos aprendieron, lo que significa que si no se propone una discusión centrada en la reflexión y las experiencias que deben transitar para aprender química y para enseñarla no serán suficientes los cambios en los diseños curriculares del profesorado.

Basados en lo anterior resulta prioritario repensar estrategias didácticas enfocadas hacia el aprendizaje en profundidad con un modelo idóneo y accesible que facilite la interpretación de los fenómenos naturales desde una visión cotidiana, sin perder la rigurosidad científica, que genere motivación en el estudiante y por ende un interés en el aprendizaje.

Teniendo en cuenta lo expuesto y el contexto en el cuál se desarrollará este trabajo de profundización, surge la siguiente pregunta:

**¿Cómo lograr *aprendizajes en profundidad* del concepto geometría molecular mediante la aplicación de una estrategia basada en los modelos y el modelaje científico?**

## **1.2 Justificación**

De acuerdo con las nuevas realidades socio – culturales y las tendencias educativas, se ha evidenciado el cambio en los intereses de los estudiantes, así como los aspectos que en ellos generan motivación y la forma como logran aprendizajes en profundidad. La química por ejemplo ha adquirido las cualidades de ser un área difícil, compleja, aburrida y teórica, por lo cual los estudiantes llegan al aula pre-dispuestos y con actitudes que obstaculizan tanto su enseñanza como aprendizaje.

Otro aspecto que dificulta este proceso es la naturaleza misma de la asignatura donde se exponen conceptos, leyes y lenguaje altamente simbólico. Chamizo (2010) propone entre las nuevas formas de enseñar Ciencias, la enseñanza a partir de modelos y modelaje científico, puesto que propicia el desarrollo de habilidades como la visualización de entidades o conceptos, lo cual es particularmente útil debido a que la química es una disciplina altamente simbólica y requiere del aprendizaje de un lenguaje específico.

Por otra parte el concepto geometría molecular, al menos en Colombia, no se tiene en cuenta como una de las temáticas principales en el plan curricular de la asignatura química e incluso se encuentra excluida de los libros escolares o reducidos a una tabla con poca profundidad. Sin embargo, es de gran importancia para el entendimiento de otros conceptos tales como el enlace químico y sus propiedades, la polaridad de las sustancias, entre otros. Pérez (2014)

resalta que “de la claridad que se tenga del concepto de la geometría molecular, es decir, de la disposición espacial de los átomos en una molécula, se tendrán entonces las herramientas suficientes para abordar el tema de la polaridad molecular y por ende el de las fuerzas intermoleculares y los enlaces químicos” (p.11).

Es necesario entonces replantear los estilos de enseñanza y las estrategias didácticas, como menciona Perez (2014) dejar a un lado esa linealidad con que se abordan los contenidos y la mecanización de la solución de ejercicios fuera de la realidad de los estudiantes, con un intensión direccionada hacia el aprendizaje profundo de los conceptos enseñados, donde el estudiante se apodere del proceso y de la construcción de conocimientos.

Así los modelos y el modelaje científico, se constituyen como una estrategia importante y de gran utilidad en la comprensión de entidades no visibles y como “herramientas útiles e indispensables para enfrentarse a conceptos abstractos con un lenguaje altamente simbólico” Matus, Benarroch y perales (Citados por Muñoz, 2010).

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Lograr aprendizajes en profundidad del concepto geometría molecular a partir de una estrategia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico en estudiantes del grado noveno.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar las ideas previas y los obstáculos epistemológicos que tienen los estudiantes de grado noveno sobre la geometría molecular.

- Diseñar e implementar una estrategia para la enseñanza y aprendizaje de la geometría molecular a partir del análisis de las ideas previas y los obstáculos epistemológicos hallados en los estudiantes del grado noveno.
  
- Establecer relaciones entre la aplicación la estrategia basada en los modelos y el modelaje científico y el lograr aprendizajes en profundidad del concepto por parte de los estudiantes de grado noveno sobre la geometría molecular.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Historia y epistemología del concepto geometría molecular

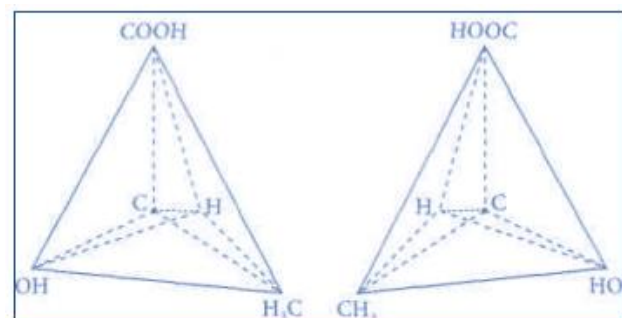
El concepto geometría molecular es de gran importancia en la enseñanza y el aprendizaje de la Química, pues se hace necesario para explicar algunas propiedades de las moléculas y así comprender temáticas estipuladas en los contenidos programáticos de la asignatura. Santos y Mól (2005) afirman que “el estudio de la geometría molecular nos permite entender cómo los átomos están distribuidos espacialmente (3D), esta organización es fundamental porque las propiedades de las sustancias están relacionadas con las formas geométricas de sus moléculas” (p.26). Así mismo Chang (2002) menciona que la geometría de una molécula afecta sus propiedades físicas y químicas, como por ejemplo, el punto de fusión, el punto de ebullición, la densidad y el tipo de reacciones en que pueda participar.

Otros autores también apoyan la importancia de comprender esta temática para concebir y razonar cómo funcionan y reaccionan las sustancias. De acuerdo con Brown (2003) el tamaño y la forma tridimensional de una sustancia dada, junto con la fuerza y la polaridad de sus enlaces, determinan en buena medida las propiedades de esa sustancia. Santos y Mól (2005) sostienen que la distribución de los átomos en las moléculas se produce en tres dimensiones y es responsable de muchas propiedades de las sustancias y no sólo de su composición química. Esta representación espacial demuestra la forma geométrica de la molécula. Si la molécula del agua, por ejemplo, tuviera geometría lineal (H-O-H), el agua no tendría las propiedades organolépticas que conocemos como: estado de agregación, color, sabor, olor, brillo.

De acuerdo con lo anterior, realizar una revisión de la bibliografía disponible, para determinar la historia y epistemología del concepto, permite construir un discurso para hacer visible la necesidad de su enseñanza y aprendizaje, su relevancia en el entendimiento de otros tópicos de la química y generar una propuesta para incluirlo en los planes curriculares del área.

Desde la antigüedad los científicos se han preocupado por conocer la estructura interna de la materia y dar explicación a su comportamiento y propiedades, así la historia de la química sus teorías y campo experimental incluyen implícitamente la importancia de las formas y el tamaño de las moléculas.

Según Asimov (1975) un primer acercamiento hacia la importancia de la tridimensionalidad de las moléculas se generó en la resolución del interrogante, respecto al comportamiento de los isómeros ópticos de forma simultánea por dos químicos daneses J. H. Van't Hoff y J. A. Le Bel, en 1874, quienes sugirieron que los cuatro enlaces del carbono estaban distribuidos en las tres dimensiones en el espacio hacia los cuatro vértices de un tetraedro y que la existencia de la isomería óptica se presentaba cuando sobre los cuatro vértices se encontraban dispuestos diferentes átomos o grupos de átomos, como se puede ver en la figura 1.



**Figura 1.** Modelos materiales bidimensionales sobre moléculas de ácido láctico. Imagen tomada de Muñoz (2010, p.25).

Es así como se propuso el modelo material de enlace tetraédrico para los átomos de carbono, derivados de cálculos y evidencia espectroscópica, este modelo permite dos configuraciones de los átomos en un compuesto, siendo una de ellas la imagen especular de la otra, (Asimov, 1975). Este modelo material para el átomo de carbono (Figura 2) fue utilizado por Van't Hoff para explicar algunas de las propiedades de los compuestos orgánicos, ya que con ellos lograba explicar la estereoisomería y predecir que compuestos de carbono la presentaban (Chamizo, 2010). Los estereoisómeros son compuestos que tienen los átomos unidos en el mismo orden pero se diferencian en su orientación (McMurry, 1994).

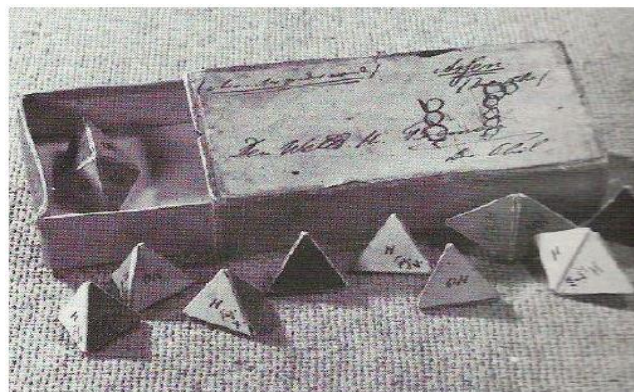


Figure 19. Cardboard tetrahedral models prepared by J. H. van't Hoff in 1874-75 (History of Science Museum, Leiden).

**Figura 2.** Modelo material bidimensional sobre modelos materiales tridimensionales de átomos de carbono tetraédrico contruidos por Van't Hoff en 1884. Tomado de Chamizo (2010, p.33)

Hasta esta etapa y gracias a los trabajos de Kekulé, Butlerov y Van't Hoff sobre la valencia, se desarrollaron modelos materiales bidimensionales y tridimensionales sobre el átomo de carbono tetraédrico que podía explicar los resultados experimentales, desde ese momento comenzó un desarrollo extraordinario para la estructura molecular de los compuestos orgánicos. Es así como en 1891, el germano-suizo Alfred Werner desarrolló una teoría de la coordinación de la estructura molecular, la cual mantiene que las relaciones estructurales entre átomos no tienen por qué estar restringidas a los enlaces ordinarios de valencia, sino que -particularmente en ciertas moléculas inorgánicas relativamente complejas- los grupos de átomos podrían distribuirse alrededor de algún átomo central, de acuerdo con ciertos principios geométricos que no parecen tener en cuenta el enlace de valencia ordinario.

Según Asimov (1975), el químico alemán Johann Friedrich Wilhelm Adolf von Baeyer, utilizó en 1885 la representación tridimensional para dibujar átomos de carbono fijos a anillos planos.

Si los cuatro enlaces de los átomos de carbono apuntan hacia los cuatro vértices de un tetraedro, el ángulo entre dos cualesquiera de ellos es aproximadamente de  $109,5^\circ$ . Baeyer argumentó que en cualquier compuesto orgánico hay una tendencia a permitir que los átomos de carbono se conecten de modo tal que los enlaces conserven sus ángulos naturales. Si el ángulo es obligado a variar, el átomo se encontrará sometido a un esfuerzo. (p.99)

Por otra parte, la idea de establecer una relación entre la geometría de una molécula y el número de electrones de valencia fue presentado por primera vez en la Universidad de Oxford por Sidgwick & Powell (1940), y afirman que:

Los arreglos en el espacio de las covalencias de un átomo polivalente, mientras estén sujetas a pequeñas variaciones raramente exceden 5 o 10°, tienden a ajustarse a un número limitado de tipos. Es deseable relacionar este agrupamiento con alguna propiedad del átomo. La propiedad aquí utilizada es el tamaño del grupo de valencia del átomo central, y el número de electrones compartidos que este contiene, junto con la del grupo electrónico precedente (no compartido) en el átomo (p.155)

Concluyen que casi (pero no completamente) todas las estructuras pueden ser incluso más simples de relacionar con el tamaño del grupo de valencia, asumiendo que la posición media de los pares de electrones en este grupo son los mismos, sean o no compartidos, siendo la estructura lineal para 4 electrones, simétrica plana para 6, ya sea tetraedro para 8, una bipirámide trigonal para 10, y un octaedro para 12.

Luego y hacia 1957 se publicó por primera vez un artículo sobre las ideas básicas del modelo de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia (MRPECV) por R. J. Gillespie y R.S. Nyholm. Sin embargo, no se había dado el nombre en Inglés de “Valence Shell Electron Pair Repulsion” hasta 1963, luego de una revisión y actualización del modelo, y unos pocos años después, el mismo comenzó a ser usado en la enseñanza en cursos de química universitarios introductorios y gradualmente reemplazó “explicaciones” basadas en el concepto de hibridación de orbitales.

El modelo propuesto por Gillespie (2012), el cual es aceptado y utilizado en la actualidad, está basado en el postulado de que “La geometría de las moléculas está determinado por las repulsiones entre los pares de electrones de la capa de valencia de su átomo central”. Subraya implícitamente la importancia tanto de los pares de enlace como de los pares solitarios en el establecimiento de la geometría molecular y se basa en trabajos experimentales desarrollados a partir de métodos espectroscópicos (Infrarrojo, ultravioleta visible y



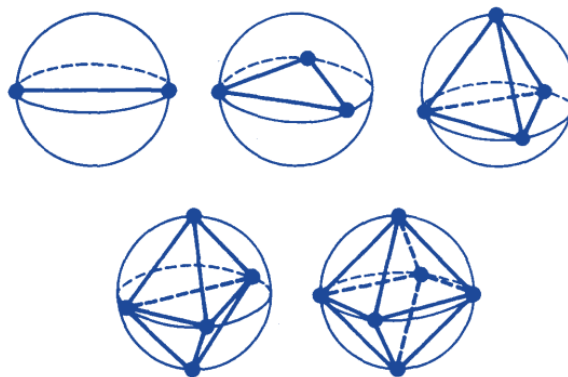
espectroscopía de micro-ondas), en la actualidad también han sido usados métodos de resonancia (Resonancia magnética nuclear y espectroscopía de resonancia del spin electrónico) las cuales son poderosas herramientas y sirven como un invaluable suplemento a las técnicas anteriores.

La configuración de enlace alrededor del átomo A en la molécula  $AX_n$  y, por consiguiente, la geometría de la molécula  $AX_n$  es tal que los pares de electrones de la capa de valencia deben estar a distancias máximas entre sí, como si los pares de electrones se repelieran mutuamente. Así, la situación puede visualizarse de modo que los pares de electrones ocupan partes bien definidas del espacio alrededor del átomo central, correspondiente al concepto de los orbitales moleculares localizados.

De acuerdo con Harguittai, I. & Chamberland, B. (1986), si se supone que la capa de valencia del átomo central conserva su simetría esférica en la molécula, entonces los pares de electrones estarán a distancias iguales del núcleo del átomo central. En este caso, las disposiciones en las cuales las distancias entre los pares de electrones son máximas serán las expuestas en la tabla 1.

**Tabla 1.** Arreglos de dos a seis pares de electrones que maximizan su distancia entre sí. Tomado y modificado de Harguittai, I. & Chamberland, B. (1986, p. 1023).

<i>Número de pares de electrones en la capa de valencia</i>	<i>Disposición</i>
2	Lineal
3	Triángulo equilátero
4	Tetraédrica
5	Bipirámide trigonal
6	Octaédrica



**Figura 3.** Formas moleculares de un modelo de puntos sobre la esfera. Tomado de Hargittai, I. & Chamberland, B. (1986, p. 1024).

Los arreglos de tres a seis pares de electrones en la tabla 1 pueden dar lugar a dos o más formas moleculares, dependiente de cuantos pares de electrones son pares no enlazantes. Estas diferentes formas moleculares se encuentran resumidas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Disposición de los pares de electrones y la geometría de moléculas tipo  $AX_nE_m$ . Tomado y modificado de Gillespie, R. J., & Hargittai, I. (2012, p. 42).

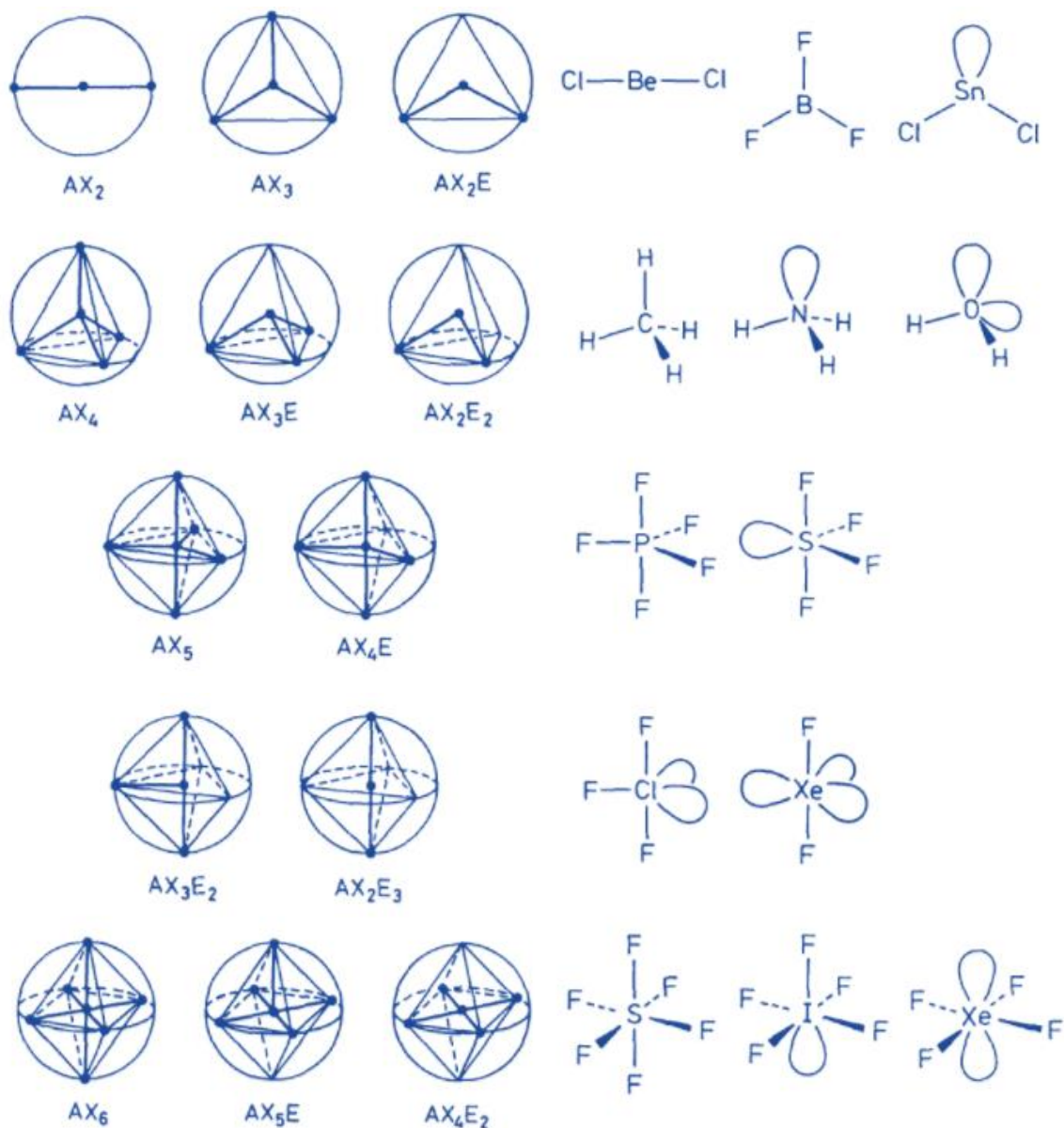
Número Pares electrones	Disposición Pares Electrones	N	m	Tipo de molécula	Forma De la Molécula	Ejemplos
2	Lineal	2	0	$AX_2$	Lineal	$BeH_2, BeCl_2$
3	Triángulo equilátero	3	3	$AX_3$	Triángulo equilátero	$BCl_3, AlCl_3$ $SnCl_2$
		2	1	$AX_2E$	Angular	
4	Tetraédrico	4	0	$AX_4$	Tetraédrica	$CH_4, SiCl_4$ $NH_3, PCl_3$ $H_2O, SCl_2$
		3	1	$AX_3E$	Triangular Piramidal	
		2	2	$AX_2E_2$	Angular	
5	Trigonal bpirámide	5	0	$AX_5$	Bipirámide trigonal	$PCl_5, AsF_5$ $SF_4$ Forma T $ClF_3$ $XeF_2$
		4	1	$AX_4E$	Disenoidea/Balancín	
		3	2	$AX_3E_2$	Forma T	
		2	3	$AX_2E_3$	Lineal	
6	Octaédrica	6	0	$AX_6$	Octaédrica	$SF_6$ $BrF_5$ $XeF_4$
		5	1	$AX_5E$	Pirámide Cuadrada	
		4	2	$AX_4E_2$	Cuadrado planar	

$n$ =número de pares enlazantes  $m$ =número de pares no enlazantes

De esta manera, dos pares de electrones tienen una disposición lineal, y si ambos son pares enlazantes, generan una molécula  $AX_2$  como el dicloruro de Berilio  $BeCl_2$ . Tres pares de electrones tienen un arreglo de triángulo equilátero, así una molécula  $AX_3$  como el tricloruro de aluminio  $AlCl_3$ , en la cual los tres pares son pares enlazantes da como resultado una forma trigonal plana. Una molécula  $AX_2E$  como el  $SnCl_2$  tiene una forma angular o doblada. Cuatro pares de electrones tienen un arreglo tetraédrico. Entonces una molécula de tipo  $AX_4$  como el metano  $CH_4$ , tiene forma tetraédrica. Una molécula  $AX_3E$  como el amoníaco  $NH_3$  adquiere una forma piramidal trigonal y una molécula  $AX_2E_2$ , como el agua  $H_2O$ , tiene una forma angular. Cinco pares de electrones tienen un arreglo de bipirámide trigonal como lo es una molécula  $AX_5$  como el pentacloruro de fósforo que forma una bipirámide trigonal, sin embargo y debido a que la bipirámide trigonal no posee vértices axiales y ecuatoriales equivalentes, se presentan diferentes alternativas en la posición de las pares no enlazantes o libres.

Según Gillespie, R. J., & Hargittai, I. (2012), los pares libres siempre ocupan los espacios ecuatoriales; así una molécula tipo  $AX_4E$  como el tetrafluoruro de azufre,  $SF_4$ , adquiere forma disenoidea o balancín. En una molécula  $AX_3E_2$  como el trifluoruro de cloro,  $ClF_3$ , ambos pares libres están en la posición ecuatorial, la molécula tiene una estructura en forma de T, en la cual todos sus átomos (4) están en el mismo plano. Para moléculas del tipo  $AX_2E_3$ , los tres pares libres se encuentran en la posición ecuatorial, dando como resultado una molécula con disposición lineal como lo es  $XeF_2$ .

Seis pares de electrones tienen una disposición octaédrica, entonces una molécula del tipo  $AX_6$ , como lo es el hexafluoruro de azufre,  $SF_6$ , consigue una forma octaédrica. Una  $AX_5E$  como el pentafluoruro de yodo  $IF_5$ , forma de pirámide cuadrada. “Para una  $AX_4E_2$ , los dos pares libres pueden ser cis o trans, así los dos pares libres siempre ocupan posiciones trans, generando una molécula cuadrado planar, como el tetrafluoruro de xenón,  $XeF_4$ . Hasta ahora no hay moléculas  $AX_3E_3$ , pero predicciones basadas en el modelo arrojarían una estructura en forma de T”. (Hargittai, I. & Chamberland, B. 1986).



**Figura 4.** Formas moleculares basadas en la disposición de dos hasta seis pares de electrones en la capa de valencia. Tomado de Gillespie, R. J., & Hargittai, I. (1991, p. 43).

## 2.2 Las ideas previas y obstáculos epistemológicos

Las ideas previas denominadas también ideas alternativas han sido ampliamente investigadas debido a su gran importancia en el aprendizaje de las ciencias. Inicialmente se concebía que aquellas encontradas en los estudiantes o aprendices frente algún concepto eran

siempre incorrectas, y se les llamaba “errores conceptuales”. Sin embargo, dicho pensamiento ha cambiado en la actualidad, pues se sabe que algunas son efectivamente incorrectas, pero otras son correctas y pueden ser incompletas o mal aplicadas (Ordoñez, 2016, p.23).

Una definición de las ideas previas o concepciones alternativas actuales es:

Las ideas previas son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales o conceptos científicos, y para brindar explicaciones, descripciones o predicciones. Son construcciones personales, pero a la vez son universales y muy resistentes al cambio; muchas veces persisten a pesar de largos años de instrucción escolarizada. (Bello, 2014, p.1).

De otro lado Rayas (citado por Guerrero 2015) define las ideas previas así:

Las ideas previas son aquellas nociones creadas por los estudiantes sobre diferentes fenómenos, a partir de su relación con el entorno. Tales ideas pueden parecer coherentes con las explicaciones científicas instauradas y esto dificulta el tránsito de dichas ideas hacia el conocimiento científico. (p.18)

De acuerdo con lo anterior, la investigación educativa en este campo se ha dedicado a diseñar y comprobar estrategias que faciliten la transformación de estas ideas alternativas en concepciones científicas, basados en el supuesto de que la construcción de las ideas previas derivan de sus interacciones cotidianas, la socialización, los medios de comunicación, las redes sociales, entre otros en la era digital que vivimos hoy en día, y por tanto son concepciones fuertes y difíciles de modificar.

En la actualidad las teorías relacionadas con la enseñanza de las Ciencias Naturales confieren gran relevancia a las ideas previas de los estudiantes, ubicándolas como la base para la construcción de nuevas estrategias, métodos y recursos para la enseñanza.

Como afirma Muñoz (2005):

La existencia de las ideas previas pone de manifiesto el desafío de enfrentar los procesos de aprendizaje y especialmente la didáctica, bajo una óptica distinta, puesto que para producir el cambio conceptual no bastaría sólo con tomar en consideración estas ideas previas, si acaso este acto no va acompañado de una metodología de enseñanza que incorpore la incertidumbre, la presencia de dudas y conjeturas, la consideración de soluciones alternativas, el descarte de respuestas muy rápidas y seguras (p.210).

En el área de la Química por ejemplo, las ideas previas, aquellas construidas antes de recibir una enseñanza sistemática, se alejan de las teorías aceptadas por la ciencia. Según Pozo & Gomez (citado por Miño, Abril y Rodríguez, 2013) las dificultades del alumnado para comprender la química, residen en la forma en que organizan sus ideas a partir de sus teorías sobre la estructura de la materia, Así Gabel (citado por Romero, 2014) menciona que las principales dificultades que se presentan en el complejo mundo de la química pueden deberse a incomprendimientos en las interpretaciones macroscópica y/o microscópica de los fenómenos químicos y también, a la ausencia de relaciones entre estos dos niveles de representación de la materia.

De la mata, Álvarez & Engracia (2011) menciona:

El alumnado puede encontrar la química como una disciplina complicada, debido a que centra su estudio en partículas no observables, y conceptos complejos. Para llevar a cabo este estudio la química utiliza una gran cantidad de modelos para obtener visiones más simplificadas de la estructura de la materia. El grado de sofisticación de los modelos utilizados por los químicos para entender el enlace químico es un factor que contribuye a que los estudiantes encuentren este tema complicado.

De otro lado los obstáculos epistemológicos según Bachelard (1987) son dificultades psicológicas que no permiten una correcta apropiación del conocimiento objetivo. El obstáculo, para Bachelard, es una forma de conocimiento de la que nos cuesta mucho deshacernos.

Estos obstáculos epistemológicos se constituyen como el núcleo duro de las representaciones o concepciones que presentan los estudiantes, entendidos como construcciones previas de explicación personal, alternativa y, por sobre todo, funcional. Se puede sostener que el obstáculo presenta un carácter más general y más transversal que la concepción: es lo que en profundidad la explica y la estabiliza, y corresponde a lo que se resiste verdaderamente a los aprendizajes y razonamientos científicos, y lo que provoca que diferentes representaciones, que se refieren a nociones sin vínculo aparente, puedan aparecer, tras un análisis, como los puntos de emergencia de un mismo obstáculo (Astolfi, 1994).

De acuerdo con lo anterior se hace necesario reconocer los obstáculos epistemológicos presentes en los estudiantes, los cuales impiden o limitan la construcción del conocimiento científico afectando el proceso de aprendizaje, y se reconozcan como insumo primordial para la formulación, diseño, construcción y aplicación de las estrategias y actividades en la enseñanza.

En la tabla 3, se presentan algunas de las ideas previas y obstáculos epistemológicos sobre el enlace químico, especialmente el enlace covalente y la geometría molecular.

**Tabla 3.** Ideas previas y/u obstáculos epistemológicos sobre enlace químico, enlace covalente. Tomado y modificado de Ordoñez (2016, p.28-29 ).

<b>Idea previa y/u obstáculo epistemológico</b>	<b>Referencia</b>
La unión entre átomos se debe a las diferentes cargas situadas en los átomos.	De posada, M. (1999, p. 227-245).
Un enlace necesariamente implica un par de electrones (o más de un par en algunos casos) entre dos átomos.	Boo, H. (1998, p. 569-581).
En el enlace covalente los átomos comparten electrones para obtener capas de electrones llenas.	Taber, K. S. (1999, p. 135-137).

**Tabla 3. (Continuación)**

<b>Idea previa y/u obstáculo epistemológico</b>	<b>Referencia</b>
El estudiante no considera la influencia de la electronegatividad y la desigual compartición del par de electrones en el enlace polar;	Peterson y Treagust (1989, p. 459-460)
La definición de orbital molecular no es bien entendida.	Dumon y Merlin. (1988, p. 49-52)
Un par de electrones es compartido por dos átomos, y que en un enlace doble son dos pares de electrones los compartidos.	Kind, V., (2004, p. 107-110).
Compartir electrones confiere estabilidad adicional a los átomos participantes y se necesita una cierta energía para romper el enlace.	Kind, V., (2004, p. 107-110).
Se da cuando se unen dos elementos no metálicos en donde comparten electrones para completar el octeto de Lewis.	Garcés, S., Herrera, A. y Velázquez, L., (2008, p. 51).
Para que un enlace sea covalente, debe haber una diferencia de electronegatividad entre el elemento menor a 1.7.	Garcés, S., Herrera, A. y Velázquez, L., (2008, p.51).
Todos los compuestos covalentes son insolubles en agua y tienen bajo punto de fusión	Bello, S. (2013, p. 5)
Los enlaces covalentes o iónicos se rompen cuando una sustancia cambia de estado.	Bello, S. (2013, p. 5)
En un enlace covalente, los electrones se encuentran más cerca del elemento más electronegativo.	Bello, S. (2013, p. 5)
El átomo más grande es el que ejerce el mayor control sobre el par de electrones compartidos.	Bello, S. (2013, p. 5)



Las ideas previas y obstáculos epistemológicos relacionados con el enlace químico, permite tener una visión preliminar y una base consistente para la exploración de las ideas alternativas y el diseño metodológico del presente trabajo de profundización.

## **2.3 Los modelos y la modelación científica**

### **2.3.1 Los modelos y su tipología**

Los modelos se constituyen como una estrategia para representar cosas, fenómenos y procesos, recreando las características precisas y su estructura, de manera tal que se haga visible una representación de la realidad. El significado más popular de la palabra modelo es el de que «modelo es una representación concreta de alguna cosa» (Justi, 2006). Así, desde la infancia se tiene un acercamiento con este concepto, en el contacto con miniaturas de objetos, animales y personas, los maniqués, maquetas o lo que se observa en exposiciones y museos. En estos casos, así como en otros, el modelo reproduce los principales aspectos visuales de la «cosa» que está siendo modelada, convirtiéndose de este modo en una «copia de la realidad».

El punto de vista más aceptado en la actualidad es que un modelo es una representación de una idea, objeto, acontecimiento, proceso o sistema, creado con un objetivo específico (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000). Como han destacado Morrison y Morgan (1999), la palabra representación no se usa solamente en aquellos casos en los que exista un tipo de exhibición de aspectos visuales de la entidad modelada, sino también como una representación parcial que al mismo tiempo «abstrae de» y «traduce de otra forma» la naturaleza de esa entidad.

De acuerdo con lo anterior, los modelos permiten visualizar u obtener de alguna manera información importante sobre algún objeto, sus características, estructura, funcionamiento y dar explicación a la ocurrencia de algunos eventos.

Según Chamizo (2010) los modelos (**m**) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (**M**) con un objetivo específico. Además afirma que en esta definición todas las palabras son importantes:

Las representaciones son fundamentalmente ideas, aunque no necesariamente ya que también pueden ser objetos materiales. Las representaciones no son por sí mismas, y valga la redundancia, auto identificantes. Las representaciones lo son de alguien (ya sea una persona, o un grupo, generalmente este último) que las identifica como tales. Una analogía está constituida por aquellos rasgos o propiedades que sabemos similares en *m* y *M*. Que se construyen contextualizando remite a un tiempo y lugar históricamente definido, lo que además enmarca la representación; cierta porción del mundo indica su carácter limitado, los modelos son respecto a *M*, parciales. (p. 13)

Por lo tanto, las funciones de los modelos son: entender, describir, explicar, y predecir un fenómeno a partir de otro en principio más accesible y conocido que el primero, que se emplean para estudiar de forma contextualizada (remite a un tiempo y lugar históricamente definido), una cierta porción del mundo con una finalidad, que puede ser conocer, investigar, comunicar y enseñar (Raviolo, 2009).

De otro lado y para el presente trabajo, se definen los tipos de modelos de acuerdo con el artículo escrito por Chamizo (2010) denominado “*Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias*”. Los siguientes son tres aspectos de los modelos que permiten identificarlos claramente.

- De acuerdo con la analogía los modelos (**m**) pueden ser mentales, materiales o matemáticos.
- De acuerdo con su contexto pueden ser a su vez didácticos o científicos, dependiendo de la comunidad que los justifique y del uso que se les dé. Aquí es muy importante el momento histórico en el que los modelos son construidos. Puede decirse, en general, que los modelos más sencillos son los más antiguos.

- La porción del mundo (**M**) que se va a modelar puede ser un objeto, un fenómeno o un sistema integrantes del mismo.



*Figura 5. Tipos de modelos. Tomado de Chamizo (2010, p.15)*

Los modelos de acuerdo a la analogía:

Las representaciones dadas por los modelos generalmente se basan en analogías. De esta manera asemejan una porción del mundo recreando características y particularidades, lo que permite generar predicciones y ser puestas a prueba. Las analogías tienen que ver con las propiedades del objeto, el sistema o el proceso que se desea modelar, así como también con sus rasgos esenciales: los de mayor interés o los que se consideren pertinentes de incorporar al modelo. Por ello, los modelos son semejantes pero no iguales a la entidad que representa (Muñoz, 2010).

De acuerdo con la analogía y sus características los modelos se pueden clasificar en mentales, materiales y matemáticos.

- Los modelos mentales se definen como representaciones internas, personales y básicamente funcionales y se emplean como herramienta de carácter explicativo y predictivo en relación con situaciones y acontecimientos del mundo, según Chamizo (2010), se consideran incompletos, imprecisos e inestables, ya que son sometidos a

procesos de revisión constante que los modifican cuando se olvidan detalles, se descartan o se transforman cuando nuevos elementos son incorporados.

- Los modelos materiales son considerados según Palma (Citado por Muñoz, 2010) como simulacros de objetos reales que conservan las proporciones relativas del original: maquetas de edificios, aviones para prueba, túneles de viento, entre otros. Así mismo Chamizo (2010) menciona que los modelos materiales son los modelos mentales expresados a través de un lenguaje específico (como el de la química), objetos en dos (por ejemplo un dibujo) o tres dimensiones (como una maqueta).
- Los modelos matemáticos generalmente son ecuaciones o leyes expresadas a través de un lenguaje (matemático, simbólico, diagramas, gráficas u objetos tridimensionales) construidas para describir la porción del mundo que se está modelando. Un ejemplo de modelo matemático es la ecuación  $PV = nRT$ , que nos permite explicar el comportamiento de los gases “ideales” (Chamizo y García, 2010).

Ahora estudiaremos los aspectos que permiten identificar los modelos de acuerdo al contexto y se pueden clasificar como modelos científicos si han sido construidos por la comunidad científica, para dar explicación y respuesta a fenómenos, o modelos didácticos referidos a la ciencia escolar y con finalidades pedagógicas y didácticas, es decir, relacionado con el aprendizaje y la enseñanza.

- Los Modelos Científicos según Raviolo (2009) son construcciones "eruditas" que apelan a términos abstractos. Presentan hipótesis con un alto nivel de abstracción con respecto a un campo problemático de la realidad, acompañados con un alto grado de formalización. Así, estos modelos transforman el mundo, ya que como representaciones abstractas y simplificadas explican fenómenos y predicen hechos naturales cuando aportan nuevos datos (Muñoz, 2010).
- Los Modelos Didácticos hacen referencia directa a la ciencia que se estudia y se proyecta en la escuela y las construcciones que allí se generan.

De esta manera, los modelos han sido interpretados por dos grupos diferentes como indica Chamizo (2010) en la tabla 4.

**Tabla 4.** Diferencias en cómo son entendidos los modelos por los aprendices y los expertos. (p.16)

Aprendices	Expertos
Los modelos son materiales	Los modelos son mentales, materiales y matemáticos
Ayudan a conocer y a comunicarse con el mundo real	Los modelos ayudan a entender o a pensar sobre una porción contextualizada del mundo
Modelos diferentes del mismo objeto, sistema, fenómeno o proceso muestran diferentes aspectos del objeto, sistema, o proceso real	Diferentes modelos de diferentes objetos, sistemas o procesos pueden construirse para diferentes propósitos
Los modelos pueden cambiar si son equivocados o se encuentra nueva información	Los modelos son reemplazados por otros más adecuados con los propósitos establecidos
Los modelos más actualizados son siempre los más correctos y los que mejor explican el objeto, fenómeno o sistema	Los modelos ya reemplazados pueden seguir utilizándose si los propósitos de su uso son satisfechos por dicho modelo, que incluso puede resultar más simple

De acuerdo a la porción del mundo, los modelos se clasifican como objetos (un edificio o teléfono), fenómenos (como un terremoto o el calentamiento global) y sistemas (el sistema nervioso o un ecosistema). De acuerdo con esto Giere (Citado por Muñoz, 2010) afirma que el ajuste modelo – realidad no es global, sino solo relativo a aquellos aspectos del mundo que los modelos intentan capturar. Por otro lado Chamizo (2010), aclara:

Los modelos lo son de “algo”; “algo” que se encuentra en el mundo; “algo” que es el mundo. Ahora bien, el mundo real (**M**) es tan extraordinariamente complejo, en cada objeto (como un automóvil) o fenómeno (algo que sucede y que es percibido, como la lluvia), o sistema (el conjunto de cosas que se relacionan entre sí y funcionan juntas integralmente) influyen tantas y tan diversas variables, que para intentar entenderlo (el Mundo) lo relacionamos con sus respectivos modelos (**m**). (p.32)

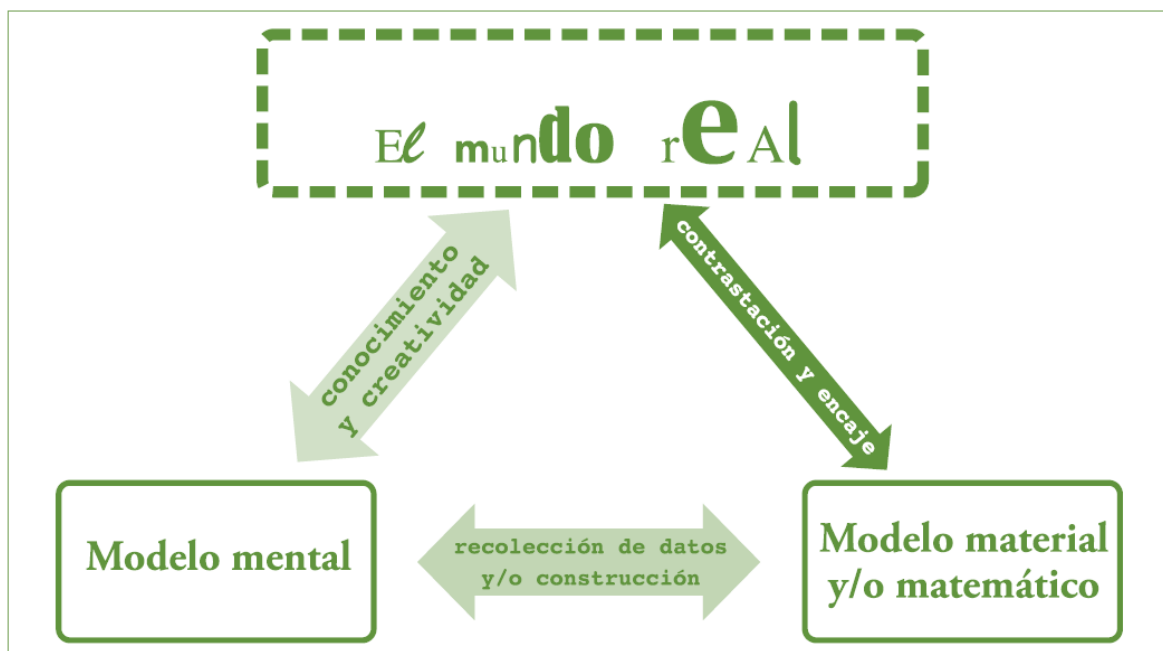
### 2.3.2 La modelación

A pesar de muchos esfuerzos, los profesores de ciencias naturales muchas veces no consiguen que los estudiantes aprendan a profundidad los contenidos, que construyan modelos mentales y comparen y compartan el conocimiento científico, de manera que puedan comprender los fenómenos que intenta explicar la ciencia de acuerdo con estas construcciones colectivas. Por el contrario los estudiantes se han limitado a aprender definiciones de memoria e incluso diversas fórmulas que les permite realizar mecánicamente ejercicios pero no alcanzan a problematizar y a comprender la esencia de los fenómenos puesto que no se construyen modelos mentales con los cuales deberían analizar y comprender la información.

Es de esta manera que se propone la modelación como una estrategia en el aula para que los estudiantes al igual que los científicos observen, describan, propongan, realicen modelos propios para explicar dichos fenómenos, defiendan sus modelos y los comparen con los aceptados por la comunidad científica. Greca y Moreira (1998) se preguntan ¿cómo hacer para que los estudiantes construyan representaciones internas coherentes con el conocimiento científico compartido? La palabra mágica parece ser la modelación, siendo esta la principal actividad de los científicos, para generar y aplicar teorías científicas. Aprender ciencias implica aprender el “juego de la modelación”.

Chamizo (2010) afirma que:

La actividad científica consiste, fundamentalmente, en construir y validar modelos, y modelar es construir modelos. Ahora bien la actividad científica no empieza en los hechos, sino en las preguntas; y las preguntas dependen del marco teórico desde el cual se formulan. Así, los hechos no son independientes de los observadores y de sus maneras de ver el mundo. La sociedad en que viven día a día la comunidad científica, los docentes y los alumnos (los dos últimos en un proyecto de ciencia escolar) determina o limita el tipo de preguntas que se hacen o que pueden responder ellos mismos, además de influir en sus conclusiones.



**Figura 6.** Esquema sobre modelos y modelaje. Tomado y modificado de Chamizo (2010, p.18)

Un primer esquema sobre los modelos y el modelaje se muestra en la figura 6, en donde el resultado obtenido de enlazar los tres cuadros a través de las tres funciones es conocimiento, ya sea este escolar o científico.

Así, a partir de las preguntas, se deriva el primer paso, la construcción de un primer modelo: un modelo mental. La flecha que une a ambos cuadros de los modelos tiene dos puntas porque por un lado asume que las preguntas dependen de la estructura mental del individuo que las realiza, y por el otro defiende la postura empirista de acuerdo con la cual la representación depende en su totalidad de los datos obtenidos a partir de la percepción del mundo.

No hay reglas ni métodos para aprender a construir modelos, pero sin duda requiere de dos condiciones:

- Conocimiento (para saber, hasta donde sea posible, cómo es esa porción del mundo).
- Imaginación y creatividad (para diseñar virtualmente el modelo compatible con esa porción del mundo de acuerdo con el objetivo establecido).

El segundo paso en el modelaje consiste en expresar el modelo mental construyendo un modelo material y/o matemático. La persona(s) que está modelando considera los aspectos más relevantes del modelo mental, recolecta datos, corrige, recomienza, afina y finalmente arriba a una versión final del modelo material. Aquí se promueve una primera discusión entre los diversos constructores del modelo.

Es un proceso de ida y vuelta que se construye generalmente contestando las pregunta: ¿qué pasaría si..? o, ¿cómo explicar esto?, de allí que la flecha que une a ambos cuadros también sea bidireccional.

Finalmente el modelo material (o prototipo) debe ser sometido a la prueba más importante que es la del experimento real, siempre y cuando éste sea posible. El contraste y encaje entre el modelo material y el mundo real implica la observación del modelo material y la conducta del objeto, fenómeno o sistema de referencia. Es una observación pública indicada con una flecha también bidireccional, una vez que, resultado de la misma observación, se pueden realizar adecuaciones al modelo material para que encaje de la mejor manera con el mundo real. En el encaje se prioriza la calidad de la explicación y de las predicciones hechas por el modelo. Aquí, dependiendo de la postura filosófica de la persona o la comunidad que construyó el modelo, se puede ser más o menos estricto haciendo notar que un modelo material le puede quedar bien a cierta realidad concreta, tal y como un traje le puede quedar bien a una persona y mal a otra.

Según Izquierdo (2004) para la enseñanza y el aprendizaje efectivo de las ciencias se debe de realizar en el salón de clases lo que hacen los científicos, que en el caso de la química es modelar la estructura de la materia posible.

### **2.3.3 La enseñanza basada en los modelos y el modelaje científico**

El modelaje en la enseñanza de las ciencias se puede considerar como una estrategia importante para el acercamiento de los estudiantes al trabajo que realizan los científicos en



la modelización de fenómenos, así se pueden incitar a construir el conocimiento a partir de sus propias reflexiones, el conocimiento previo que poseen y adquirir cualidades académicas que les permita analizar, predecir, proponer y defender sus ideas, al momento de explicar problemas y fenómenos con ocurrencia en la cotidianidad y en la naturaleza, desde el aula de clase. Según Izquierdo (2004) si la química se enseñara desconectada de la actividad científica les parecería a los alumnos que los científicos han visto las entidades a las que se refieren cuando comunican sus resultados. Con ello, los conceptos científicos acabarían siendo sólo descriptivos, por muy sofisticados y teóricos que parecieran; perderían su dimensión práctica y una parte importante de su significado. Por ello, lo importante no es describir qué son y cómo funcionan las entidades químicas, sino plantear un problema que las haga necesarias, que sea adecuado a las capacidades del estudiante y a las finalidades de la enseñanza.

Es así como surge la enseñanza de la ciencia basada en los modelos y el modelaje, que se concibe como una herramienta muy útil para formular preguntas, dar explicaciones, generar discusiones, realizar predicciones, promover representaciones visuales de conceptos abstractos, generar modelos mentales (Treagust, Chittleborough y Mamiala, 2004) y modelos materiales (Chamizo, 2010). Esta propuesta también promueve que los estudiantes desarrollen una comprensión sobre los contenidos más coherente y flexible, que les permite generar una opinión crítica respecto a los fenómenos estudiados, así como vivenciar el conocimiento científico.

Justi (2006) propone etapas y sub etapas que deben estar presentes en el modelaje: la primera es definir los objetivos, la segunda es elegir la representación más adecuada para el modelo, la tercera es la comprobación del modelo propuesto y la cuarta es la socialización del mismo. Estas etapas se pueden evidenciar con mayor profundidad en la tabla 5.

**Tabla 5.** Etapas y sub etapas en el modelaje científico. Tomado de Justi (2006).

<b>ETAPAS</b>	<b>SUB-ETAPAS</b>	<b>PROCESOS</b>
ETAPA 1	<b>Tener experiencia con el objetivo a modelar:</b> Se buscan observaciones iniciales (directas o indirectas, cualitativas o cuantitativas) acerca de la entidad que está siendo modelada.	Estas experiencias pueden existir en forma de observaciones empíricas o de informaciones previamente existentes (en la estructura cognitiva del propio individuo o en fuentes externas) acerca de la entidad modelada y del contexto en el cual está inmersa.
	<b>Seleccionar el origen del modelo:</b> La selección de los aspectos de la realidad que se usarán para describir el «objeto» a modelar.	Estos aspectos de la realidad pueden ser situaciones con las que parece posible establecer una analogía o bien recursos matemáticos para la situación en cuestión.
	<b>Elaboración de un modelo mental inicial</b>	La creatividad y el razonamiento crítico del individuo conducen a la elaboración de un modelo mental inicial.
ETAPA 2	<b>Ciclo para elegir la representación más adecuada para el modelo</b>	Se puede expresar de diferentes formas: material o matemático.
ETAPA 3	<b>Comprobación del modelo propuesto</b>	Tales comprobaciones pueden ser de dos naturalezas: (a) mediante experimentos mentales, (b) mediante la planificación y realización de comprobaciones experimentales.
	<b>Fallas del modelo propuesto</b>	Si el modelo falla en relación con las previsiones que sirven de apoyo a las comprobaciones, se deberá intentar hacer modificaciones en el mismo para que pueda reincorporarse al proceso.
	<b>Rechazo del modelo propuesto</b>	Esto conllevará una reconsideración radical de los elementos de la Etapa 1 (elaboración del modelo), pero se añade el conocimiento adquirido hasta el momento, que pasa a formar parte de las experiencias anteriores del individuo.
ETAPA 4	<b>El modelo cumple con el propósito para el que ha sido elaborado:</b> Cuando un modelo tiene éxito en la Etapa 3.	El individuo que lo ha elaborado está entonces convencido de su validez y su siguiente tarea consistirá en convencer a otros individuos de lo mismo.

De otro lado Chamizo y García (2010), en su libro Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales, presentan diferentes secuencias de actividades como propuestas para la enseñanza de diferentes temáticas de la química, allí se especifican los aspectos más importantes para la estructuración de una secuencia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico.

Entre muchos ejemplos se muestra una secuencia didáctica denominada “MODELOS Y MODELAJE EN EL ENLACE QUÍMICO”, la cual presenta los siguientes pasos y actividades:

1. **INSTRUCCIONES:** Cada actividad presenta los objetivos y recomendaciones para la realización del trabajo.
2. **Introducción a los modelos y el modelaje científico:** Antes de iniciar el trabajo del concepto específico se realiza una introducción de los estudiantes en los modelos y el modelaje científico a partir de una serie de actividades con la misma estructura propuesta, en este trabajo se proponen dos actividades, una sobre modelar la funcionalidad a nivel molecular de un pegamento, la otra sobre la caja negra (modelar objetos que no son observables a partir de la interacción con los sentidos).
3. **ACTIVIDAD 1.** Observen (diferentes sustancias), predigan (características y propiedades de las sustancias), modelen (en dos dimensiones los fenómenos observados), analicen lo modelado (pasos para construir el modelo y su propósito).
4. **ACTIVIDAD 2.** Expliquen (situación problema relacionada con la temática), Observen (Experimento realizado por el profesor), modelen (en tres dimensiones las sustancias implicadas en el experimento), analicen lo realizado (pasos para construir el modelo y su propósito), investiguen (estructura química de las sustancias y sus propiedades físicas y químicas).
5. **ACTIVIDAD 3.** Completen (tablas con información de las sustancias), modelen (en dos y tres dimensiones modelos macroscópicos sobre lo observado), Analicen (características más importantes para construir el modelo), Expliquen (Comparen sus modelos con el resto del grupo, argumenten sus modelos y escriban conclusiones).
6. **EVALUACIÓN.** Lecturas, completar tablas, cuestionario final, preguntas sobre la modelación.

## 2.4 Aprendizajes en profundidad

El presente trabajo cuya estructura se basará en estrategias guiadas a partir de los modelos y el modelaje científico busca alcanzar en los estudiantes un verdadero aprendizaje profundo de los contenidos y de los conceptos, así como alcanzar el conocimiento científico, por ello es necesario tener una visión y caracterización de los aprendizajes a profundidad, cómo alcanzarlos y construir conocimiento a partir del mismo.

El aprendizaje profundo que algunos autores denominan como modelo y otros como una estrategia, se centra en el desarrollo de diversas destrezas del pensamiento, de tal forma que los estudiantes se apropien y sepan usar eficazmente el conocimiento adquirido en la escuela, sean personas propositivas y puedan generar solución a las diferentes problemáticas que viven en su cotidianidad. Según Beas; Santa Cruz; Thomsen y Utreras (2000):

La finalidad del modelo de aprendizaje profundo es que los estudiantes aprendan a comprender, profundizar y extender sus conocimientos, de tal manera que se mejore el pensamiento, como un medio para que el sujeto se capacite para aprender de una forma más profunda y significativa.

Así Camacho (2008) afirma que:

Bajo este modelo cognitivista, se considera que el aprendizaje es un proceso de construcción de conocimientos por parte del aprendiz, dependiente del conocimiento previo y determinado por el contexto o la situación en la que se produce. De tal manera, que se toma como punto de partida la diferencia que existe entre el aprendizaje logrado por sí mismo y el que alcanza a través del apoyo planificado y cuidadoso del mediador, en este caso el profesor.

Para Valenzuela (2007) aprender profundamente, implica comprender de forma profunda y para ello los aprendices profundos suelen construir de manera activa lo que aprenden y dar significado a lo que necesitan recordar. De este modo el aprendizaje profundo de acuerdo con Snow, Corno y Jacksón (1996) utiliza el método constructivista de aprendizaje partiendo de una motivación personal, mientras que el aprendiz superficial está motivado

por las recompensas externas como las calificaciones y la retroalimentación positiva del profesor.

En la literatura sobre el aprendizaje profundo y superficial, se identifican como pioneros a Marton y Säljö (citados por Ortega y Hernandez, 2015) quienes realizaron investigaciones sobre la forma de aprender de los estudiantes, identificando dos niveles de procesamiento de información, identificados como profundo y de superficie. Otros investigadores ahondando en estas investigaciones reconocen al aprendizaje profundo y superficial como estilos cognitivos refiriéndose a la forma característica en que los individuos conceptualmente organizan el medio ambiente y construyen el aprendizaje.

Así, el aprendizaje profundo, tiene que ver con el significado, la reinterpretación, comprensión, conexión y aplicación de conocimientos; vinculándose con la teoría constructivista; mientras tanto el aprendizaje superficial no busca entendimiento y tiende a emplear estrategias de estudio superficial, como la memorización y la reproducción, el conocimiento queda en estado inerte, en tanto el sujeto no observa utilidad del mismo, dependiendo de motivaciones externas para el logro del aprendizaje.

DeLotell, et al. (2010) mencionan:

El aprendizaje profundo se produce cuando los estudiantes participan activamente en el proceso de aprendizaje, teniendo en cuenta las oportunidades del constructivismo, la experiencia personal y el utilizar habilidades que posibiliten la resolución de problemas, al no favorecer dicho aprendizaje se niega entonces las experiencias personales de aprendizaje así como el desarrollo de habilidades de pensamiento. Ahora, si el aprendizaje profundo parte de la experiencia que vive el sujeto, construyendo por el mismo el conocimiento, no aprende de la experiencia del otro, se aprende construyendo las propias experiencias y es a partir de esta experiencia el significado que le damos al mundo.

De otro lado, Fasce (2007), concibe el aprendizaje profundo como una estrategia que se caracteriza por incorporar el análisis crítico de nuevas ideas, las cuales son integradas al conocimiento previo sobre el tema, favoreciendo con ello su comprensión y su retención en

el largo plazo de tal modo que pueden, más tarde, ser utilizadas en la solución de problemas en contextos diferentes. Para lograr aprendizaje profundo se requiere utilizar altos niveles de habilidades cognitivas tales como “análisis” (comparar, contrastar) y “síntesis” (integrar el conocimiento en una nueva dimensión). El aprendizaje profundo promueve la comprensión y la aplicación de los aprendizajes de por vida.

En la tabla 6, se puede evidenciar una comparación entre el aprendizaje profundo y el aprendizaje superficial.

**Tabla 6.** Comparación entre estrategia profunda y superficial, tomada de fasce (2007, p.7)

<b>Comparacion entre estrategia profunda y superficial</b>	<b>Comparacion entre estrategia profunda y superficial</b>
<b>Estrategia profunda</b>	<b>Estrategia superficial</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Enfocada en el significado</li> <li>· Relaciona el conocimiento previo con el nuevo aprendizaje</li> <li>· Vincula el conocimiento nuevo con otras áreas o materias</li> <li>· Relaciona el conocimiento con la experiencia real y cotidiana</li> <li>· Incorpora un análisis lógico y utiliza el juicio crítico</li> <li>· Se establece en base a una motivación intrínseca, orientada a la satisfacción del saber</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Enfocada en los datos</li> <li>· Centrada en hechos aislados</li> <li>· Dirigida a la memorización para rendir pruebas o exámenes</li> <li>· No se establecen relaciones con la experiencia habitual</li> <li>· Acepta los hechos tal como son presentados</li> <li>· La motivación es externa, orientada a la aprobación de la asignatura</li> </ul>

De acuerdo con todo lo anterior referente al aprendizaje profundo, es importante denotar que este trabajo de investigación tiene como objetivo lograr este tipo de aprendizaje con las características y dimensiones que este involucra.

## **3. Metodología**

### **3.1 Enfoque del trabajo**

Según Hernández, Fernández y Baptista (citados por Torres, 2015) los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recolectada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno en estudio. Este modelo representa el más alto grado de integración o combinación entre los enfoques cualitativo y cuantitativo. Ambos se entremezclan o combinan en todo el proceso de investigación, o al menos, en la mayoría de sus etapas. Requiere de un manejo completo de los dos enfoques y una mentalidad abierta. Agrega complejidad al diseño de estudio; pero contempla todas las ventajas de cada uno de los enfoques.

El presente trabajo de profundización se desarrolló bajo un enfoque mixto, ya que se recogen y analizan una serie de datos, obtenidos de la aplicación de un cuestionario inicial de ideas previas y la comparación de estos resultados con un posttest. En el análisis de las respuestas obtenidas de los estudiantes se establecieron valores numéricos que permiten calcular porcentajes y realizar gráficas. De otro lado se analizan representaciones a partir de modelos materiales bidimensionales (dibujos) y el estudio de su respectiva argumentación, todo lo anterior con el objetivo de determinar si la secuencia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico permiten alcanzar aprendizajes profundos del concepto geometría molecular.

### **3.2 Contexto del trabajo**

El Colegio Instituto para la Ciencia se encuentra ubicado en el municipio de Manizales, departamento de Caldas, carácter privado con calendario académico A. En la actualidad la

institución cuenta con una población aproximada de 190 estudiantes, distribuidos desde primero de primaria hasta la media académica.

Dado su carácter académico y su compromiso con la sociedad colombiana y en particular con los jóvenes y niños objeto de su razón social, posee la profundización en Educación Ambiental para todos los grados y configura el currículo para ahondar en las áreas de las Ciencias Naturales, especialmente la Biología; como meta de vida, de supervivencia y de avance personal.

La población objeto de estudio son 17 estudiantes del único grado 9° de la Institución, con edades oscilantes entre los 14 y 17 años de ambos géneros (11 hombres y 6 mujeres), pertenecientes a niveles socio-económicos con estratificación 2,3 y 4.

### **3.3 Etapas del trabajo**

Con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo de profundización se establecieron las siguientes fases y actividades.

#### **FASE 1. Diagnóstica**

Se realizó una cartografía social en la institución educativa caracterizando los aspectos más relevantes en relación con la enseñanza y el aprendizaje, como lo son la infraestructura (aulas, espacios recreativos, salas con recursos tecnológicos, laboratorios y oficinas), recursos físicos y humanos, condiciones sociales, culturales y económicas de los estudiantes, el modelo y el enfoque pedagógico de la institución así como los valores y la filosofía adoptados por la misma. A partir de este análisis, se identificaron problemáticas a nivel del proceso de enseñanza y aprendizaje en las ciencias naturales, en la química y especialmente en el concepto geometría molecular, generando una propuesta para superar estos obstáculos o limitaciones y que a su vez, respondan a la realidad escolar que viven los estudiantes.



De acuerdo con lo anterior, se plantearon los objetivos del trabajo como guía para alcanzar los resultados esperados y se propuso el diseño de una secuencia didáctica basada en la enseñanza a través de los modelos y el modelaje científico en estudiantes del grado noveno, a partir de la aplicación y análisis de un instrumento de ideas previas cuyo propósito fue hallar los obstáculos epistemológicos de los estudiantes sobre el concepto geometría molecular.

Finalmente se realizó una revisión bibliográfica sobre investigaciones donde se han estudiado casos similares (contexto, problemas, estrategias, recursos y soluciones) o se han realizado trabajos haciendo uso de esta metodología basada en los modelos y el modelaje científico en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales, sus perspectivas y resultados, se estudiaron los aspectos más relevantes para así lograr los objetivos propuestos.

## **FASE 2. Diseño, validación y aplicación de instrumento de ideas previas (Pretest).**

Se realizó una revisión histórica y epistemológica del concepto geometría molecular la cual permitió tener una perspectiva sobre el desarrollo de esta temática y los conceptos alternos necesarios para su comprensión y aprendizaje, así como estrategias usadas en la enseñanza del mismo.

Se procedió a realizar un instrumento de ideas previas (Anexo 1), compuesto de once (11) preguntas clasificadas de acuerdo con las ideas previas que se pretenden obtener de los estudiantes, donde deben analizar preguntas de selección múltiple con única respuesta y plantear los modelos explicativos a partir de dibujos, el cual fue validado por experto.

Las preguntas se clasifican de la siguiente manera: Enlace iónico y covalente (preguntas 1 y 2), estructuras de Lewis (preguntas 3 y 4), figuras geométricas, poliedros (preguntas 5 y 6), modelos sobre geometría molecular, dibujos (preguntas 7.a y 7.b), geometría molecular, conceptos (preguntas 8 a 11).

En las preguntas 1 y 2 se pretende conocer las concepciones e implicaciones sobre el enlace químico, los tipos de enlace y las componentes que intervienen en el mismo. Las ideas relacionadas con la electronegatividad, nivel energético más externo y electrones de valencia.

Las preguntas 3 y 4 corresponden a la formación de estructuras de Lewis, su objetivo se centra en determinar conocimientos sobre distribución electrónica, electrones de valencia, niveles energéticos, ley del octeto, estabilidad química y excepciones a la ley.

Las preguntas 5 y 6 tienen como finalidad identificar los conocimientos de los estudiantes sobre las figuras geométricas (poliedros), el número de caras y su nombre, así como la relación con la geometría de las moléculas y su tendencia tridimensional.

En la pregunta 7, se exploran las concepciones que poseen los estudiantes sobre modelos y modelación a partir de la elaboración de dibujos que representarán pensamientos abstractos sobre la forma tridimensional de las moléculas a nivel submicroscópico. Además de explicaciones y argumentos del porqué de sus representaciones y el proceso seguido para llegar a ellas.

En las preguntas 8 y 11, se pretende indagar sobre la capacidad de predicción de la geometría de una molécula hipotética en donde se anuncian los pares de electrones enlazantes y los pares de electrones solitarios o libres.

En la pregunta 9, se describe un error en la geometría molecular del agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), con ello se pretende que los estudiantes argumenten a partir de la teoría de repulsión de los pares de electrones de valencia el porqué de la geometría angular de la molécula.

En la pregunta 10, se presenta una molécula real  $\text{H}_2\text{CO}$  (formaldehído) y tiene como finalidad identificar la aplicabilidad de estructuras de Lewis en la formación de las geometrías moleculares así como conocimientos sobre la acción de los pares de electrones enlazantes y los pares de electrones solitarios o libres en la geometría molecular.

La aplicación del instrumento de exploración de ideas previas se realizó el 12 de marzo de 2018, en las instalaciones del Colegio Instituto para la Ciencia, en el salón de clases correspondiente al grado noveno. La población objeto de estudio fueron 17 estudiantes y se puede apreciar en las figuras 7.



*Figura 7. Aplicación del instrumento de exploración de ideas previas.*

Cabe aclarar que al momento de aplicar el cuestionario inicial de ideas previas (pretest) aún no se explica o enseña el concepto geometría molecular.

A partir de la aplicación del cuestionario de ideas previas se identificaron los modelos explicativos y los obstáculos epistemológicos de los estudiantes sobre el concepto geometría molecular. En el análisis de la información, se recurrió a una metodología mixta donde se realizaron análisis cuantitativos a partir de porcentajes en preguntas de selección múltiple con única respuesta y análisis cualitativos a partir de las descripciones y argumentación en preguntas abiertas.

Por último, se diseñaron diferentes actividades para mejorar las ideas previas y superar los obstáculos epistemológicos, algunas de ellas fueron las clases a partir de recursos audiovisuales, talleres basados en los modelos y el modelaje científico, el uso de software (PhET), la construcción de modelos en dos y tres dimensiones para explicar fenómenos de la cotidianidad, así como modelos moleculares de algunas sustancias en estudio.

### **FASE 3. Diseño y aplicación de la secuencia didáctica.**

El diseño de la secuencia didáctica para alcanzar aprendizajes en profundidad sobre el concepto geometría molecular en los estudiantes de grado noveno del colegio Instituto para la Ciencia, está basado en la metodología propuesta por Chamizo y García (2010) sobre la enseñanza de las Ciencias Naturales a partir de los modelos y el modelaje científico, así como las sugerencias aportadas por Justi (2006) sobre las etapas y subetapas que deben estar presentes en el modelaje, empleando las recomendaciones y actividades a utilizar. Para lograrlo se partió de las ideas previas y los obstáculos epistemológicos encontrados inicialmente en los estudiantes a partir de la aplicación del pretest.

Se procedió a diseñar actividades didácticas que le permitieron al estudiante superar los obstáculos epistemológicos teniendo en cuenta la metodología escogida y el uso del análisis histórico – epistemológico del concepto. La secuencia didáctica consta de 6 etapas, cada etapa con diferentes momentos y actividades las cuales se enmarcaron en la metodología

propuesta por Chamizo y García (2010). Cada actividad propuesta permite afianzar uno o varios aspectos característicos de los aprendizajes en profundidad como lo es la observación, predicción, argumentación, creación y presentación de modelos, explicación, comparación, sustentación, así:

**A. Introducción a los modelos y el modelaje.**

- Conociendo las ideas sobre modelos y modelaje 1 (pegamento).
- Conociendo las ideas sobre modelos y modelaje 2 (la caja negra)

**B. Refuerzo y nivelación conceptos asociados.**

- Ley del octeto, excepciones a la ley y estructuras de Lewis.

**C. Modelos y modelaje sobre geometría molecular.**

- Observación, predicción, modelación, discusión y sustentación.

**D. Introducción a nuevos conocimientos.**

- Lectura del texto “Geometría molecular”, importancia, conceptos asociados, teoría de repulsión de los electrones de la capa de valencia (TRPECV)
- Preguntas sobre texto y aclaración de los conceptos.
- Actividad disposición natural de los globos y la geometría molecular.

**E. Aplicación Phet “forma de una molécula”.**

- Diseño de moléculas reales e hipotéticas en el software e interacción con sus ángulos, pares solitarios y la geometría molecular.

**F. Aplicación y Evaluación.**

- Contrastación de modelos iniciales y los nuevos modelos a partir del nuevo conocimiento.
- Construcción en tres dimensiones de una molécula entregada por el docente, exposición y sustentación de su geometría, características químicas y aplicabilidad.
- Taller evaluativo sobre geometría molecular.

#### **FASE 4. Evaluación de los aprendizajes obtenidos, aplicación de postest y análisis de los resultados obtenidos.**

El análisis de datos se efectuó con base en la información generada de la aplicación de los cuestionarios inicial (pretest) y final (postest). Los resultados se ordenaron y se representaron de forma numérica para luego ser representados en porcentajes, gráficos circulares y de barras, inicialmente se realizó el análisis por preguntas donde se obtuvieron las ideas previas y los obstáculos epistemológicos, luego se realizó una comparación del pretest vs el postest demostrando los cambios en el aprendizaje de los estudiantes. Cabe resaltar que las preguntas abiertas donde se expresan modelos bidimensionales se analizan de acuerdo con la teoría de Jhonstone (citado por Galagovsky, L., Rodriguez, M. y Stamati, N, 2003) sobre los niveles representacionales macroscópico, submicroscópico y simbólico. Analizada toda la información se formulan las conclusiones y recomendaciones finales, cabe aclarar que a cada estudiante le correspondió un numero de manera aleatoria y para efectos de presentar ejemplos de los modelos bidimensionales en el presente trabajo se eligieron los estudiantes 1 al 6.

Las fases, sus objetivos y actividades se encuentran en la tabla 7.

**Tabla 7.** Síntesis de fases, objetivos y respectivas actividades.

<b>Fase</b>	<b>Objetivo de la fase</b>	<b>Actividades</b>
Fase I Diagnóstica	Realizar una cartografía social del contexto educativo e identificar el problema origen de la investigación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Análisis del contexto educativo.</li> <li>➤ Identificación del problema.</li> <li>➤ Planteamiento de los objetivos.</li> <li>➤ Plantear la metodología.</li> </ul>

Tabla 7 (continuación)

Fase	Objetivo de la fase	Actividades
<p>Fase II Diseño, validación y aplicación de instrumento de ideas previas (Pretest).</p>	<p>Elaborar un instrumento para explorar las ideas previas y los obstáculos epistemológicos de los estudiantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Revisión histórica y epistemológica del concepto geometría molecular.</li> <li>➤ Elaborar y validar un cuestionario de ideas previas (pre test y pos test).</li> <li>➤ Aplicar el cuestionario a los estudiantes de grado noveno.</li> <li>➤ Analizar la información obtenida a partir del cuestionario.</li> </ul>
<p>Fase III Diseño y aplicación de la secuencia didáctica.</p>	<p>Diseñar y aplicar la secuencia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico a partir de las ideas previas y los obstáculos epistemológicos de los estudiantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Identificar las ideas previas y obstáculos epistemológicos de los estudiantes sobre la geometría molecular.</li> <li>➤ Diseñar la secuencia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico para alcanzar aprendizajes profundos en el concepto geometría molecular.</li> <li>➤ Desarrollar las clases a partir de la secuencia propuesta.</li> </ul>
<p>Fase IV Evaluación de los aprendizajes obtenidos y aplicación de postest.</p>	<p>Verificar a partir de evaluación escrita y postest el logro de aprendizajes profundos sobre la geometría molecular.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Evaluación escrita sobre el conocimiento construido del concepto la geometría molecular.</li> <li>➤ Aplicar el pos test para valorar si se dio cambio en el aprendizaje del tema.</li> <li>➤ Análisis de los resultados obtenidos y conclusiones.</li> </ul>

## 4. Análisis de los resultados

En primer lugar se presentan los resultados y análisis sobre cada pregunta del cuestionario inicial (anexo 1), cuya finalidad es identificar las ideas previas y los obstáculos epistemológicos de los estudiantes alrededor de la geometría molecular. En un segundo momento se mostrará los cambios en el aprendizaje a partir de una comparación entre el cuestionario inicial (pretest) y el cuestionario final (postest).

### 4.1 Análisis del pretest

#### Pregunta 1.

**Cuando se habla de los electrones de valencia de determinado átomo, se hace referencia a:**

- a. Son los electrones en el nivel más externo de un átomo (En el nivel con mayor valor de  $n$ ) y son los que participan en el enlace químico.
- b. Son los electrones que se encuentran ubicados en el núcleo del átomo junto con los protones y participan del enlace químico.
- c. Son los electrones más internos en el átomo.
- d. Son los electrones en el nivel más externo de un átomo (En el nivel con mayor valor de  $n$ ) y NO participan en el enlace químico.

La pregunta uno tiene como objetivos:

- Determinar las ideas previas que poseen los estudiantes a cerca de los electrones involucrados en el enlace químico (electrones de valencia), niveles energéticos, nivel energético más externo, ubicación de las sub-partículas en el átomo y la ley del octeto.
- Identificar los obstáculos epistemológicos de los estudiantes sobre la estructura del átomo, la ubicación de las sub-partículas y la función de los electrones de valencia en el enlace químico.



Los resultados obtenidos de la primera pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 1.



*Gráfica 1. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 1.*

La respuesta correcta es la A, la cual fue elegida por el 88% de los estudiantes, demostrando así, claridad en conceptos necesarios para la comprensión del enlace químico, las estructuras de Lewis y posteriormente la geometría molecular.

De otro lado un 6% eligió la respuesta B y otro 6% la respuesta D, allí se evidencian errores conceptuales sobre la estructura del átomo y la ubicación de las sub-partículas, como también la importancia de los electrones del último nivel energético en la formación de los enlaces químicos.

### **Pregunta 2.**

**En el enlace covalente los átomos involucrados generan una interacción donde:**

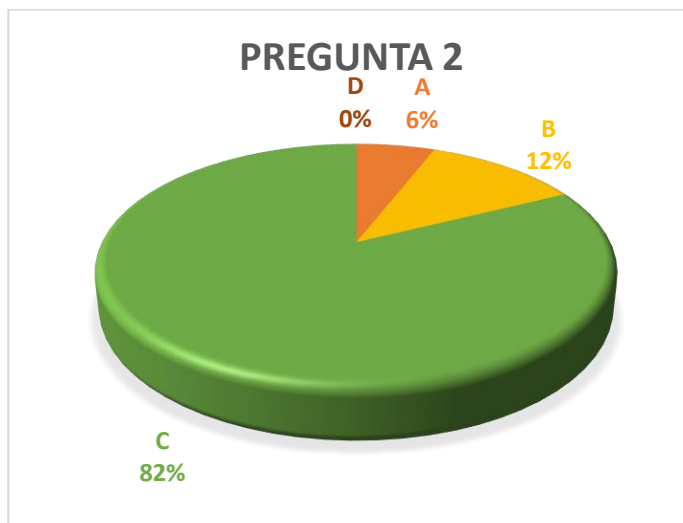
- a. Un átomo cede electrones obteniendo carga positiva y otro recibe los electrones ganando carga negativa.
- b. Los átomos poseen gran diferencia de electronegatividad por lo cual comparten los electrones.

- c. Los átomos poseen una pequeña diferencia de electronegatividad, es decir, se atraen con una fuerza similar, por lo cual comparten los electrones para alcanzar la estabilidad.
- d. Un átomo cede electrones generando un anión y otro recibe los electrones generando un catión.

La pregunta tiene como objetivos:

- Determinar las ideas previas en los estudiantes sobre los tipos de enlaces y la influencia de las electronegatividades para determinarlos teóricamente.
- Establecer obstáculos epistemológicos relacionados con la naturaleza de los enlaces iónicos y covalentes.

Los resultados obtenidos de la segunda pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 2.



**Gráfica 2.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 2.

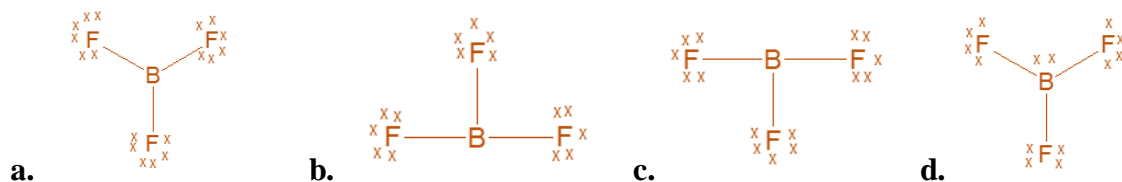
El 82% eligió la opción C (respuesta correcta), así se demuestra que la mayoría de los estudiantes poseen bases sólidas sobre la naturaleza de los enlaces químicos, especialmente entre el enlace iónico y el enlace covalente. Sin embargo el 12% eligió la opción B,

evidenciando una confusión sobre el manejo de las diferencias de electronegatividades para determinar teóricamente el tipo de enlace químico y un 6% la opción A, demostrando desconocimiento de la naturaleza del enlace iónico y el enlace covalente.

Se puede concluir ante estos resultados que los estudiantes manejan la definición casi mecánica o memorística del enlace iónico y covalente, sin embargo, no hay una comprensión profunda sobre las particularidades del concepto enlace químico.

### Pregunta 3.

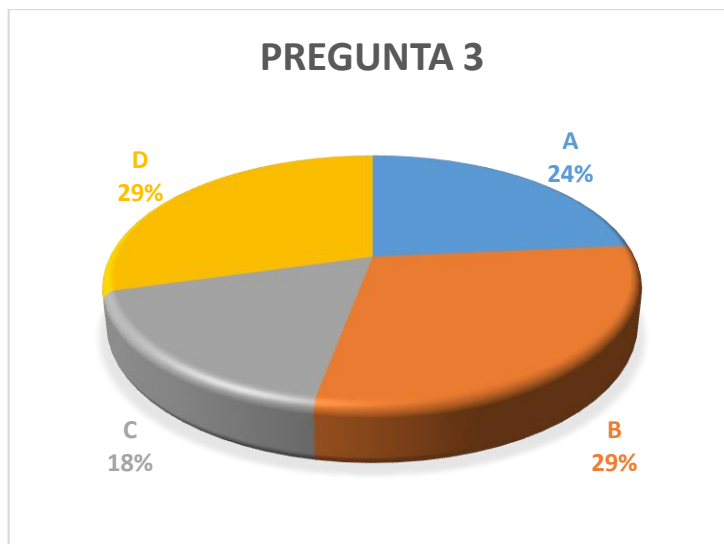
La imagen que mejor representa la estructura de Lewis para el  $\text{BF}_3$  (trifluoruro de boro) es:



La pregunta tiene como objetivos:

- Determinar conocimientos sobre la representación de los enlaces químicos a partir formación de estructuras de Lewis.
- Reconocer obstáculos epistemológicos basados en la estabilidad de los elementos, la ley del octeto y sus excepciones, distribución electrónica y electrones de valencia.

Los resultados obtenidos de la tercera pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 3.



**Gráfica 3.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 3.

Para esta pregunta los estudiantes realizaron elecciones muy divididas. La respuesta correcta es la A, elegida por un 24%, aproximadamente un cuarto de la población tiene claridad sobre la formación de las estructuras de Lewis así como de los conceptos relacionados con la temática. El 29% que eligió la respuesta B, como el 18% que eligió la respuesta C, no distribuyen correctamente los electrones en la capa de valencia y no tienen en cuenta la ley del octeto para la formación de las estructuras. Finalmente un 29% de los estudiantes eligieron la respuesta D, para este caso adicional de no tener en cuenta los conceptos anteriormente mencionados, hacen caso omiso a las excepciones de la ley como lo es para el caso el Boro cuya estabilidad se genera con seis electrones en su último nivel de energía.

#### Pregunta 4.

La imagen que mejor representa la estructura de Lewis para el HCN (ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno) es:



La pregunta cuatro tiene como objetivos:

- Conocer las ideas de los estudiantes sobre la naturaleza del enlace covalente y la necesidad de la formación de enlaces múltiples para alcanzar la estabilidad.
- Establecer obstáculos epistemológicos en relación con la distribución electrónica, los tipos de enlace covalente y la formación de las estructuras de Lewis.

Los resultados obtenidos de la cuarta pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 4.

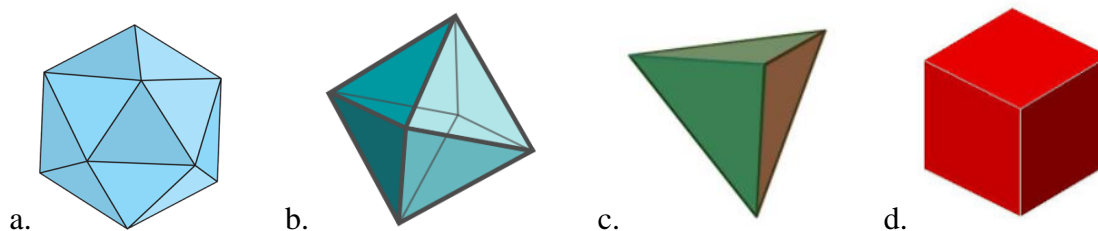


**Gráfica 4.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 4.

El 59% de los estudiantes eligieron la respuesta D, así demuestran conocimientos sobre la formación de estructuras de Lewis, para lo cual hacen uso de enlaces múltiples para alcanzar la estabilidad, posiblemente poseen la idea arraigada de ley del octeto que para este caso se cumple con el nitrógeno y el carbono, al igual demuestran saber la excepción del Hidrógeno cuya estabilidad es alcanzada con dos electrones en su capa energética más externa. De otro lado los estudiantes responden un 6% la A, un 23% la B y un 12% la C, en cada respuesta se dispuso mayor o menor cantidad de electrones correspondientes a cada átomo, de esta forma se puede inferir nuevamente obstáculos relacionados con distribución de los electrones de valencia y errores en la formación de las estructuras de Lewis.

**Pregunta 5.**

La figura que mejor representa un octaedro es:



El objetivo de la pregunta cinco es:

- Reconocer los conocimientos de los estudiantes sobre la geometría de poliedros la cual se relaciona directamente con la geometría molecular.

Los resultados obtenidos de la quinta pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 5.



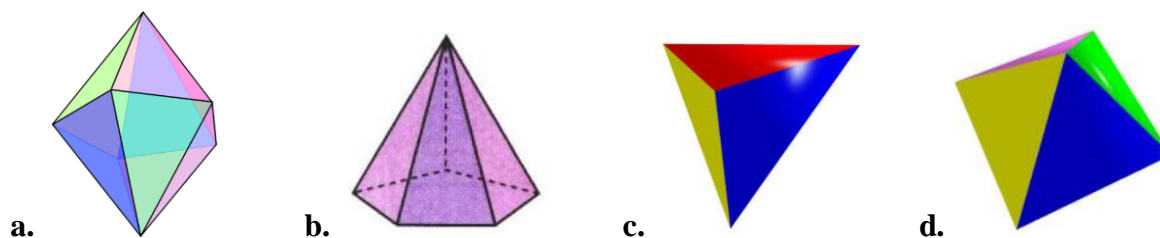
**Gráfica 5.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 5.

El 82% de los estudiantes respondieron la opción correcta (B), demostrando conocimiento sobre la geometría de poliedros, esto permitirá un aprendizaje profundo en el momento de relacionar la disposición de los átomos en las moléculas y determinar la geometría.

Finalmente solo el 18% respondieron a la opción A, un icosaedro, posiblemente desconocen la relación de los números ordinales con el número de caras y por lo tanto del nombre del poliedro en cuestión.

### Pregunta 6.

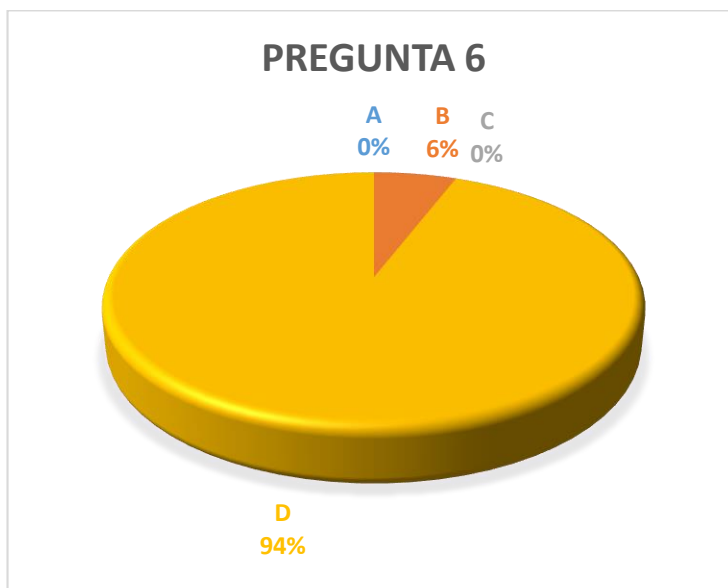
La figura que mejor representa una pirámide de base cuadrada es:



El objetivo de la pregunta seis es:

- Reconocer los conocimientos de los estudiantes sobre la geometría de poliedros la cual se relaciona directamente con la geometría molecular.

Los resultados obtenidos de la sexta pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 6.



**Gráfica 6.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 6.

El 96% de los estudiantes eligieron la opción D la cual es la respuesta correcta, así se confirma que los estudiantes en su mayoría poseen ideas previas correctas sobre la geometría de poliedros y esto definitivamente es una ventaja para la comprensión de la geometría molecular. Solo un 6% de la población en estudio respondió a la opción B, una pirámide pentagonal, igual que en la pregunta anterior, existe la posibilidad de que desconozcan la relación de los números ordinales con el número de caras y por lo tanto del nombre del poliedro en cuestión o haber hecho un análisis poco profundo de las opciones a elegir.

**Pregunta 7. (Pregunta abierta)**

**Todos los objetos tangibles que conocemos tienen una forma, algunas de ellas son regulares y otras irregulares. Imagine que posee un microscopio con la capacidad para observar los átomos y moléculas de cualquier sustancia. De acuerdo con lo anterior elabora un modelo (dibujo o esquema) que represente a nivel macro y micro:**

- a. El líquido conocido como el Agua ( $H_2O$ )

Vista Macroscópica	Vista Microscópica

Explique las razones por las cuales representaste así tu modelo y el proceso seguido para llegar al mismo.

- b. Uno de los gases causantes de la contaminación, el dióxido de carbono ( $CO_2$ )



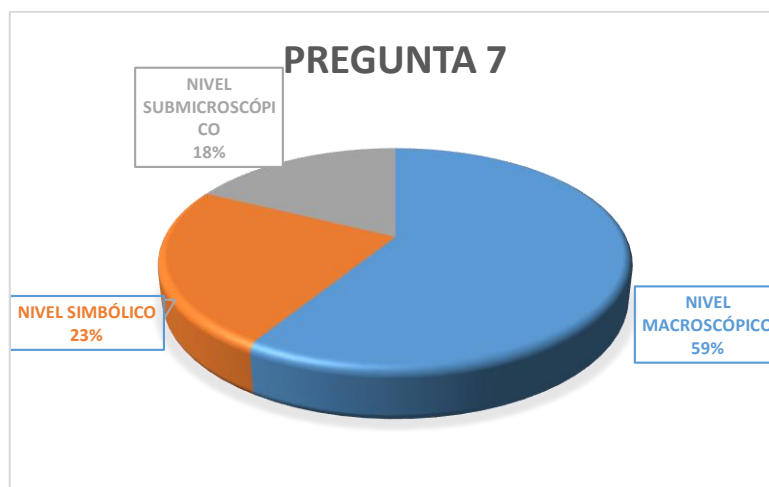
Vista Macroscópica	Vista Microscópica

Explique las razones por las cuales representaste así tu modelo y el proceso seguido para llegar al mismo.

Los objetivos de la pregunta siete son:

- Explorar las concepciones que poseen los estudiantes sobre modelos y modelación a partir de la elaboración de dibujos a nivel macro y en dos dimensiones del agua ( $H_2O$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ).
- Determinar los niveles representacionales que utilizan los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos químicos.

Los resultados obtenidos de la séptima pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 7.

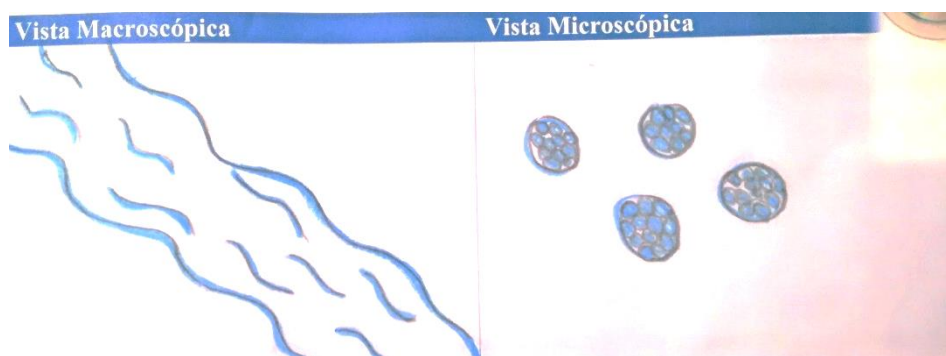


**Gráfica 7.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 7.

El 59% de los estudiantes mostraron en sus dibujos representaciones a nivel macroscópico, es decir, plasmaron en el papel lo que ellos pueden ver a través de la observación directa. En segundo lugar, un 23% realizaron dibujos a nivel simbólico, es decir, usaron símbolos (letras) para representar las moléculas. Por último, un 18% realizaron dibujos a nivel sub-micro, es decir plantearon modelos, sin embargo, por si mismos no explicaban la estructura o forma de las moléculas y los argumentos proporcionados no fueron del todo coherentes.

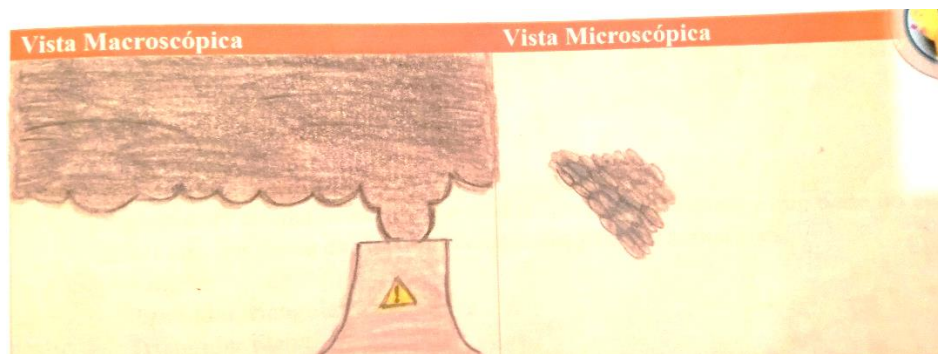
A continuación se presentarán algunos ejemplos, de los modelos realizados por los estudiantes.

### Estudiante 1.



*Figura 8. Modelo explicativo sobre la molécula del agua.*

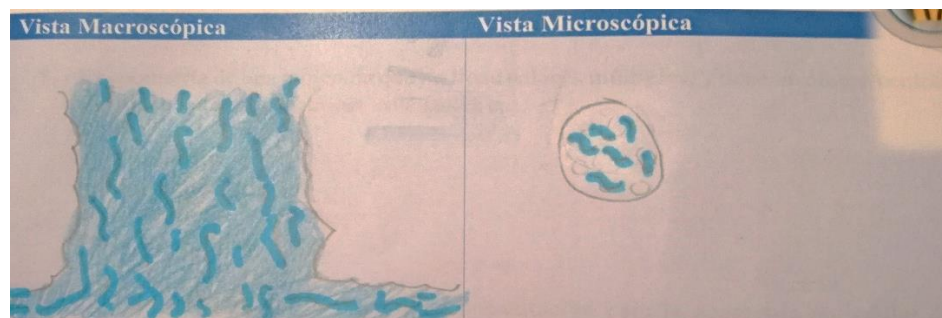
El estudiante menciona “Es porque el microscopio es tan potente que se ven las moléculas del agua como goticas”.



*Figura 9. Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono.*

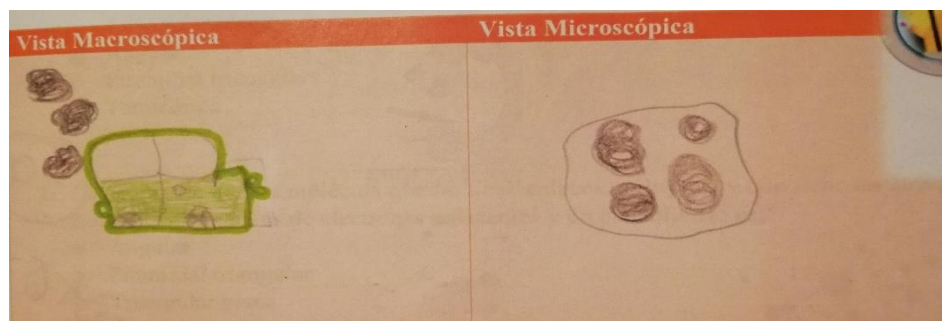
El estudiante afirma “con un microscopio tan potente se ven sus partículas y aclara un poco su color”

#### **Estudiante 2.**



*Figura 10. Modelo explicativo sobre la molécula del agua.*

El estudiante escribe “Macroscópica: así la veo en lagos, ríos y mares. Microscópica: Cuando abro una llave y veo la manera como el agua baja yo imagino que son pequeñas cositas babosas”.

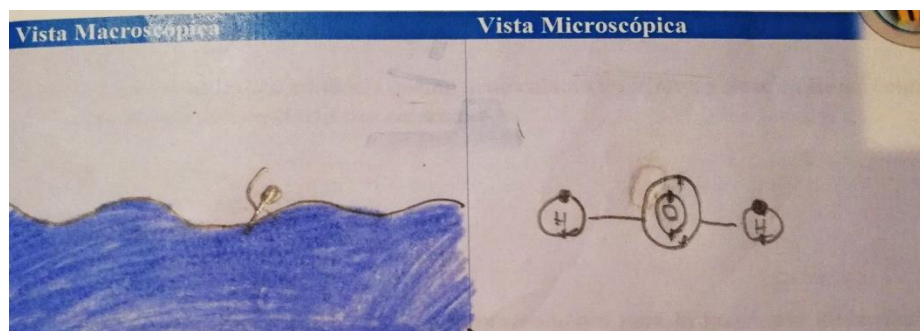


*Figura 11. Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono.*

El estudiante escribe “Macroscópica: lo veo como una gran nube de humo en carros. Microscópica: pequeñas cosas de humo como nubecitas”.

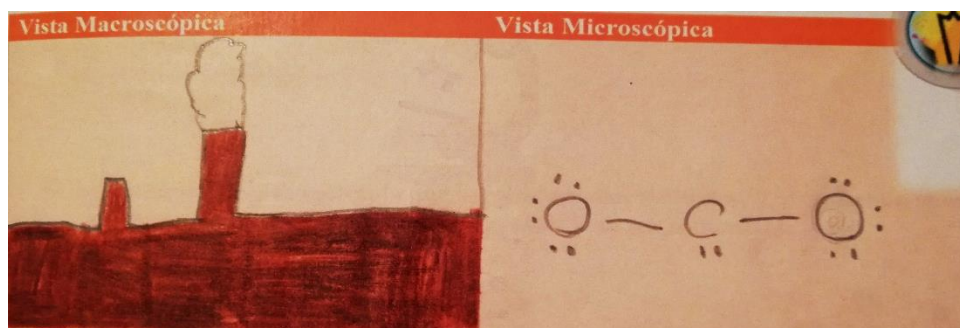
Los estudiantes 1 y 2 representan para ambos casos dibujos sobre lo que ha observado directamente y no contempla partículas, átomos, moléculas o símbolos químicos. Se centra en plasmar características de aquello que ha obtenido por la interacción con los sentidos, por lo cual podríamos categorizarlos en un nivel representacional macroscópico. Según Jhonstone (citado por Galagovsky, Rodriguez y Stamati, 2003), el nivel macroscópico corresponde a las representaciones mentales adquiridas a partir de la experiencia sensorial directa. Este nivel se construye mediante la información proveniente de nuestros sentidos, basada en propiedades organolépticas, visuales, auditivas y táctiles. Todos los sistemas materiales que manipulamos podemos caracterizarlos mediante descripciones sensoriales que aportan información a este nivel.

### **Estudiante 3.**



*Figura 12. Modelo explicativo sobre la molécula del agua.*

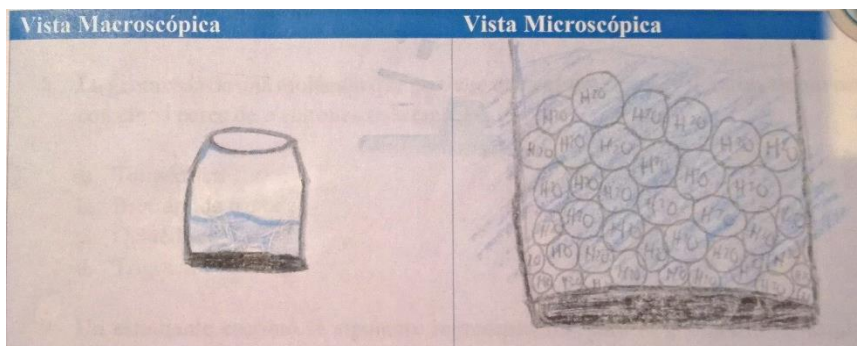
El (1a) estudiante menciona “yo llegue a esta conclusión porque si Lewis predijo matemáticamente que eran así es por algo”



**Figura 13.** Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono.

El estudiante escribe “Lo mismo de la respuesta anterior, si miro por este microscopio será así”.

#### Estudiante 4.



**Figura 14.** Modelo explicativo sobre la molécula del agua.

El estudiante menciona “la dibuje de esta forma porque creo que el agua son partículas muy unidas y las letras por representación de agua ( $H_2O$ ) que esta en estado líquido”.

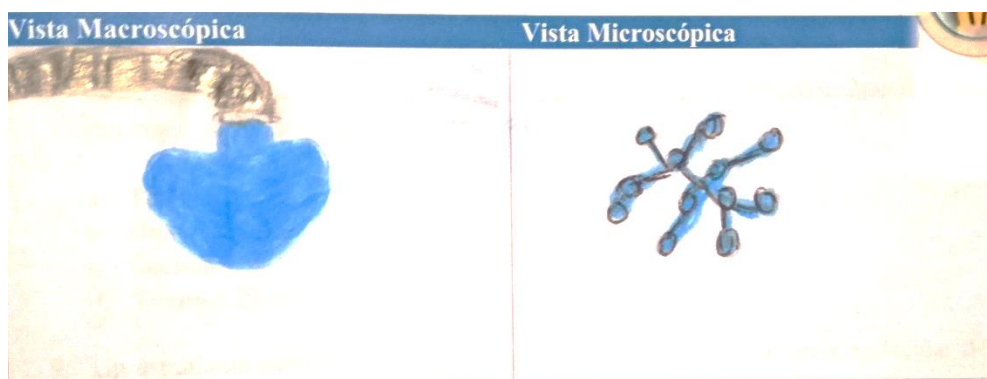


*Figura 15. Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono.*

El estudiante señala “Yo creo que micro son moléculas con electrones de carga positiva o negativa gracias a su estado gaseoso”.

Los estudiantes 3 y 4 realizan dibujos donde representan las sustancias a partir de los símbolos de los elementos químicos e incluso tratan de realizar estructuras de Lewis sin obtener éxito. De lo anterior se puede categorizar a este grupo de estudiantes en el nivel representacional simbólico. Según Jhonstone (citado por Galagovsky, Rodriguez y Stamati, 2003), el tercer nivel, el simbólico, involucraría formas de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones químicas, expresiones matemáticas, gráficos, definiciones, etc.

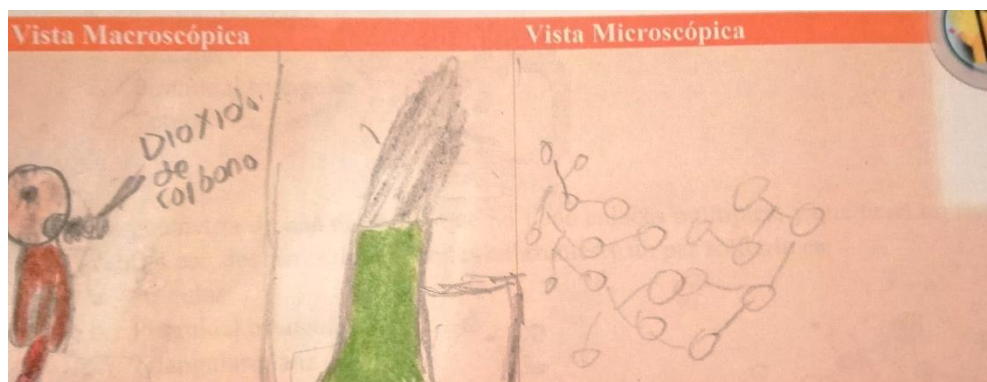
#### **Estudiante 5.**



*Figura 16. Modelo explicativo sobre la molécula del agua.*



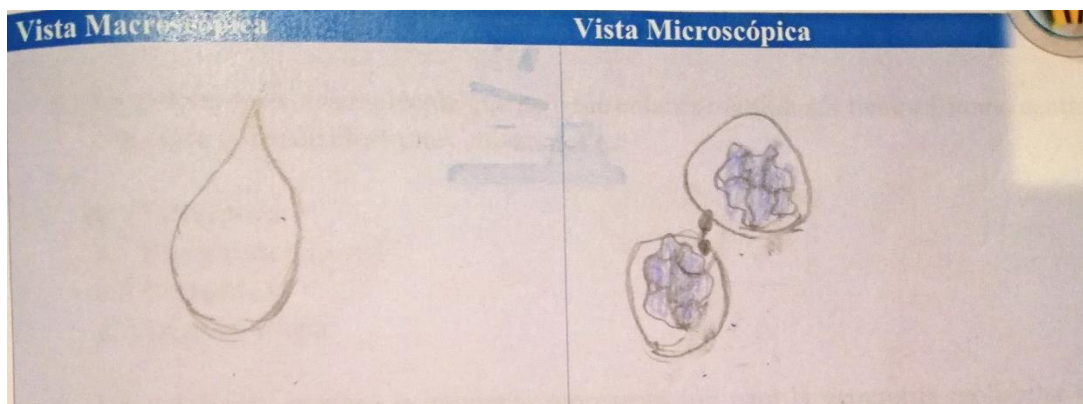
El estudiante escribe “yo creo que se ven como transparente pero mas adentro se ven las moléculas que la componen”.



**Figura 17.** Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono.

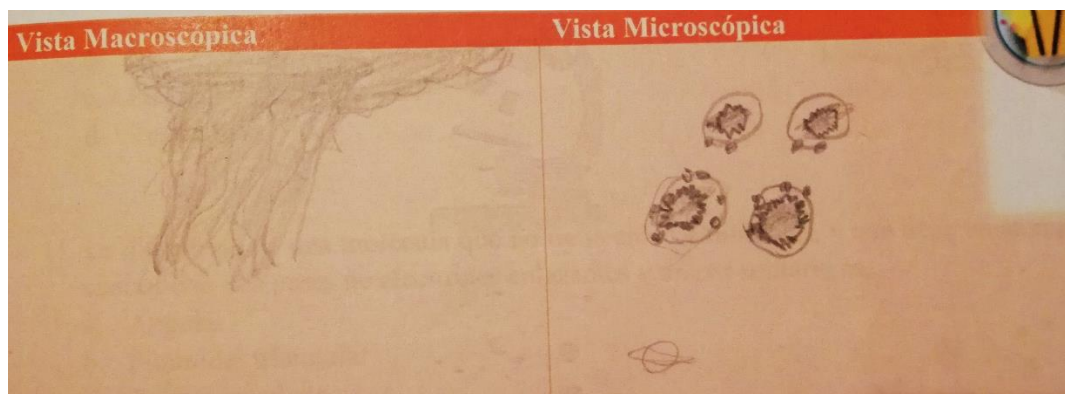
El estudiante menciona “yo creo que puede ser transparente el dióxido de carbono pero también es visible”

#### Estudiante 6.



**Figura 18.** Modelo explicativo sobre la molécula del agua por el estudiante 6.

El estudiante afirma “ya que el agua no es tan sólida por lo que su forma no debería ser muy uniforme”



*Figura 19. Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono por el estudiante 6*

El estudiante escribe “ya que al ser un gas, su apariencia sería más inestable”.

Los estudiantes 5 y 6 realizan dibujos donde intentan representar modelos de las partículas a partir de esferas, sin embargo, no se observa claridad de la identidad de cada parte de los dibujos, cómo permanecen unidos (enlaces) o la disposición en el espacio. Teniendo en cuenta esto, se podrían categorizar con algunos vacíos, en el nivel representacional submicroscópico.

Según Jhonstone (citado por Galagovsky, Rodriguez y Stamati, 2003), el nivel submicroscópico, hace referencia a las representaciones abstractas, modelos que tiene en su mente un experto en química asociados a esquemas de partículas. Ejemplos de este nivel son las imágenes de esferitas que solemos utilizar para describir el estado sólido de una sustancia pura, o sus cambios de estado, o sus transformaciones químicas, que se corresponden con una representación mental de lo que sucede según el modelo particulado de la materia.

**Pregunta 8. (Tomada de pruebas ICFES, 2006)**

**La geometría de una molécula que no tiene enlaces múltiples, y tiene un átomo central con cinco pares de electrones enlazantes es:**

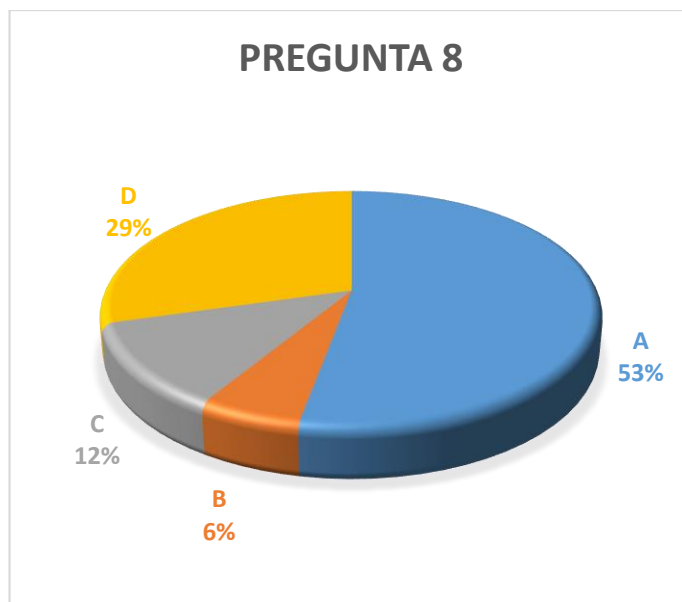


- a. Tetraédrica
- b. Bipirámide trigonal
- c. Octaédrica
- d. Trigonal Plana

El objetivo de la pregunta ocho es:

- Identificar las ideas previas de los estudiantes relacionados con conceptos como pares de electrones enlazantes y solitarios, su distribución en cada átomo y la disposición espacial de acuerdo con las características de cada molécula.

Los resultados obtenidos de la octava pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 8.



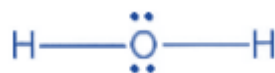
**Gráfica 8.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 8.

El 6% de los estudiantes respondieron a la respuesta correcta (opción B) demostrando posibles conocimientos sobre la temática o una relación directa con los poliedros, sin embargo un 94% eligieron entre las tres opciones restantes las cuales representan geometrías moleculares incorrectas de acuerdo con la instrucción dada en la pregunta. Aunque los

estudiantes poseen ideas sobre los tipos de enlace y algunos sobre la naturaleza de los mismos, no reconocen los conceptos relacionados con electrones enlazantes y electrones libres. Las respuestas pueden corresponder a la ausencia de conocimientos sobre la disposición de los átomos en el espacio (tridimensionalidad de las moléculas) al igual que las teorías que respaldan este tópico como lo es el modelo de repulsión de los electrones de la capa de valencia.

### **Pregunta 9.**

**Un estudiante escribió la siguiente representación para la geometría molecular del agua:**



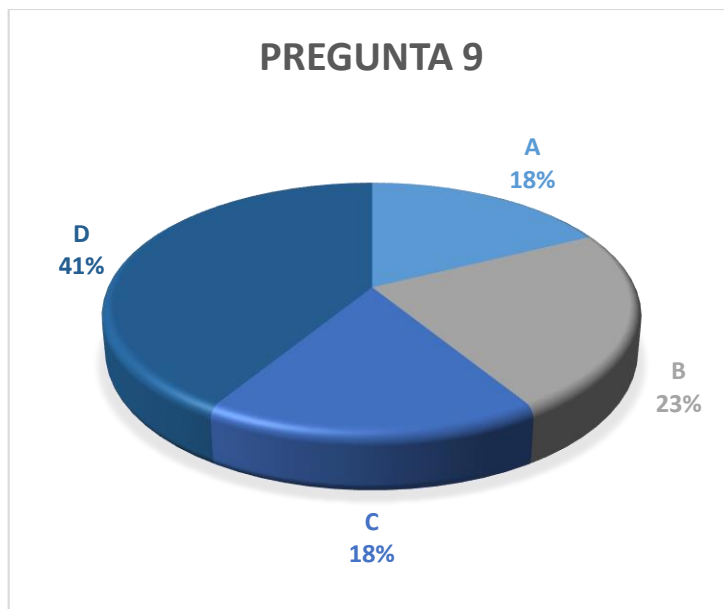
**La representación anterior es errada puesto que:**

- Los átomos de hidrógeno carecen de electrones libres.
- Los electrones libres en el oxígeno generan repulsión y no puede ser lineal.
- Los átomos de hidrógeno están ubicados en sentido opuesto.
- La distribución electrónica del oxígeno no cumple con la regla del octeto.

El objetivo de la pregunta nueve es:

- Identificar las ideas previas de los estudiantes, relacionados con la geometría molecular y los factores que influyen para determinarla teóricamente.

Los resultados obtenidos de la novena pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 9.



**Gráfica 9.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 9.

El 23% de los estudiantes se apoyan en la opción B (Respuesta correcta), dando importancia a la repulsión de los electrones libres en el átomo central como responsables de una forma diferente a la lineal. De otro lado el 18% cree que la estructura planteada no puede ser lineal debido a que los hidrógenos no poseen electrones libres, mostrando obstáculos epistemológicos relacionados con los electrones de valencia, enlazantes y no enlazantes. Un 18% eligieron la opción C, la cual plantea que se debe a los elementos ligando, así restan total importancia a la acción de los electrones y la direccionan a la ubicación de los hidrógenos, mientras un 41% de la población eligen la opción D, manifestando nuevamente limitaciones en el entendimiento de la ley del octeto y la distribución de los electrones.

### **Pregunta 10.**

**La geometría de la molécula de formaldehído ( $\text{H}_2\text{CO}$ ) es:**

- a. Triangular plana
- b. Angular
- c. Piramidal triangular
- d. Tetraédrica

El objetivo de la pregunta diez es:

- Identificar las ideas previas de los estudiantes relacionados con conceptos como pares de electrones enlazantes y solitarios, y las nociones sobre geometría molecular para un compuesto real.

Los resultados obtenidos de la décima pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 10.



**Gráfica 10.** Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 10.

Al representar una molécula real a través de su fórmula condensada, el 18% de los estudiantes eligieron la respuesta correcta (A), posiblemente relacionaron la presencia de 4 elementos, tres de ellos unidos a uno central por lo cual eligieron la opción que refiere a una forma trigonal (3 entidades). El 82% restante eligieron entre las demás respuestas, cualquier otra forma de geometría, mostrando desconocimiento de las teorías que apoyan la determinación de la geometría molecular como lo es la teoría de repulsión de los electrones de la capa de valencia y conceptos claves como pares de electrones enlazantes y solitarios.

**Pregunta 11.**

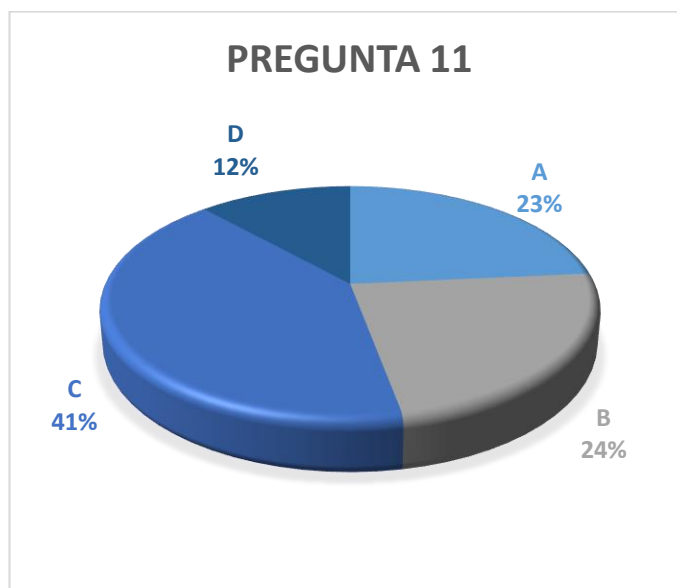
**La geometría de una molécula que no tiene enlaces múltiples, y que tiene un átomo central con dos pares de electrones enlazantes y un par solitario es:**

- Angular
- Piramidal triangular
- Triangular plana
- Tetraédrica

El objetivo de la pregunta once es:

- Identificar las ideas previas de los estudiantes relacionados con la acción de los pares libres en un átomo central para determinar la geometría real de una molécula específica

Los resultados obtenidos de la undécima pregunta por los estudiantes se muestran en la gráfica 11.



*Gráfica 11. Resultados representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 11.*

El 23% de los estudiantes respondieron a la respuesta correcta (opción A) demostrando posibles conocimientos sobre la temática, sin embargo un 77% eligieron entre las tres opciones restantes las cuales representan geometrías moleculares incorrectas de acuerdo con la instrucción dada en la pregunta, demostrando desconocimiento sobre conceptos como pares de electrones enlazantes y solitarios, así como su responsabilidad en la determinación de la geometría de una molécula específica. Al igual que en la pregunta 8, las respuestas pueden corresponder a la ausencia de conocimientos sobre la disposición de los átomos en el espacio (tridimensionalidad de las moléculas) y de las teorías que respaldan este tópico como lo es el modelo de repulsión de los electrones de la capa de valencia.

***Los obstáculos epistemológicos encontrados en los estudiantes y que puede afectar el aprendizaje sobre el concepto geometría molecular son:***

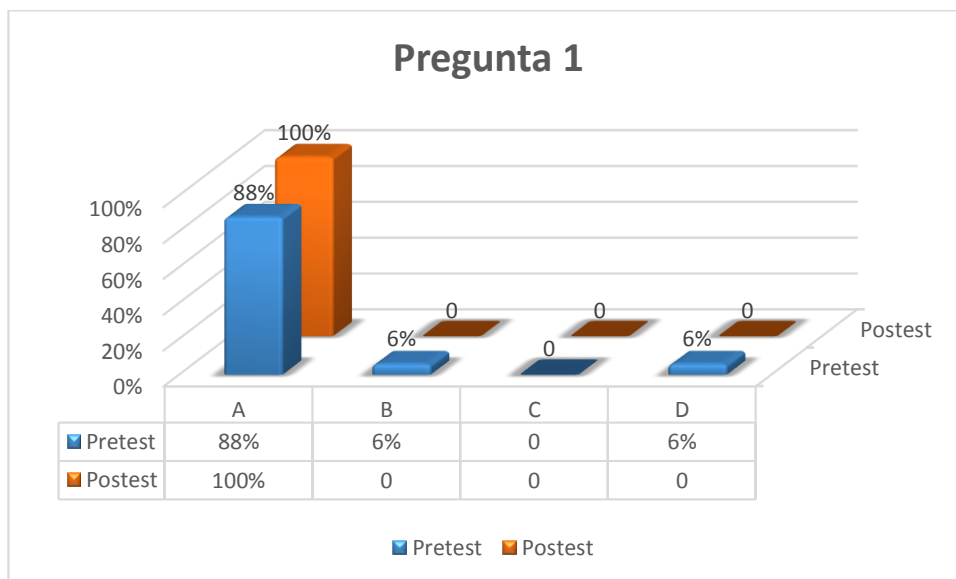
- Dificultades al realizar la distribución electrónica y establecer los electrones de valencia para cada átomo.
- Algunos estudiantes no reconocen la ley del octeto y el concepto de estabilidad electrónica, si lo hacen carecen de información sobre las excepciones a esta ley.
- Obstáculos epistemológicos en la construcción de estructuras de Lewis para representar los enlaces y electrones en una molécula específica.
- Representaciones en su mayoría macroscópicas, la presencia del nivel simbólico y submicroscópico es casi nulo.
- Ausencia de modelos donde se especifique la geometría de las moléculas a partir de la teoría de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia.
- Relación directa de la forma macroscópica de los compuestos con su forma microscópica.
- No se establece relación entre la distribución electrónica, las estructuras de Lewis, los pares de electrones enlazantes y solitarios con la geometría molecular de los compuestos.
- Ausencia de representaciones moleculares donde se aprecie algún tipo de geometría.
- No se integran los niveles representacionales macroscópico, simbólico y submicroscópico para explicar el concepto geometría molecular.

## 4.2 Comparación pretest vs posttest

En este apartado se exponen los resultados (cambio en el aprendizaje) obtenidos de los estudiantes luego de enseñar el concepto “geometría molecular” a partir de la secuencia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico. Todo a partir del posttest, el cual fue el mismo cuestionario inicial de ideas previas.

### Pregunta 1.

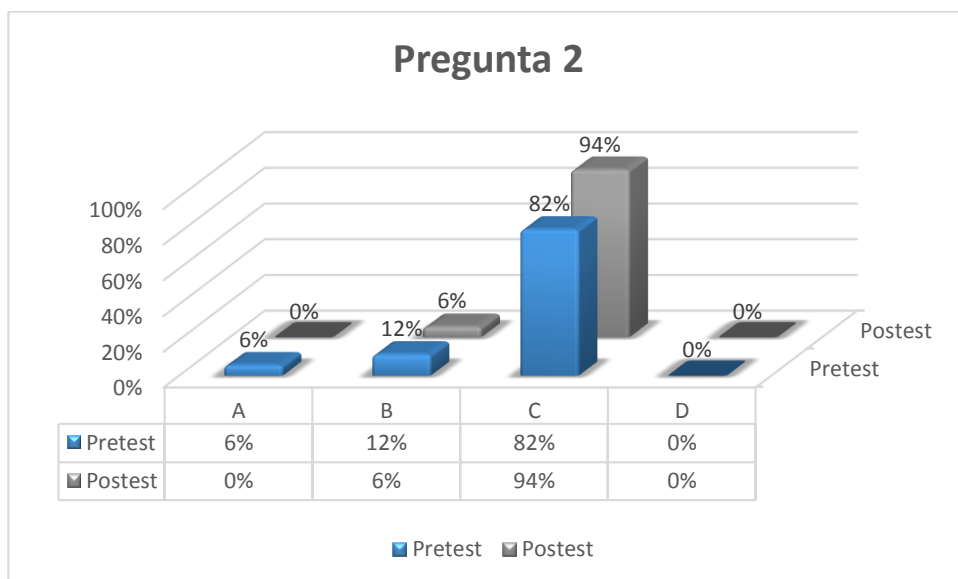
Se puede observar como el 100% de los estudiantes eligen la respuesta correcta, así el 12% que estaba errado en el pretest superan las dificultades relacionadas con conceptos como estructura atómica, distribución electrónica y electrones de valencia. Se puede concluir entonces la eficiencia del ejercicio de nivelación y refuerzo realizado a partir la explicación magistral y el uso de recursos audiovisuales. Los resultados se pueden valorar en la gráfica 12.



**Gráfica 12.** Comparación de resultados del pretest y posttest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 1.

### Pregunta 2.

Para este caso se muestra un aumento del 12% de estudiantes que eligieron la respuesta correcta (C), es decir, la mayoría de los estudiantes (94%) comprenden la naturaleza de los enlaces químicos, especialmente el enlace iónico y covalente, así como el manejo de la electronegatividad de los elementos que intervienen en dichos enlaces para su determinación teórica. Los resultados se pueden observar en la gráfica 13.



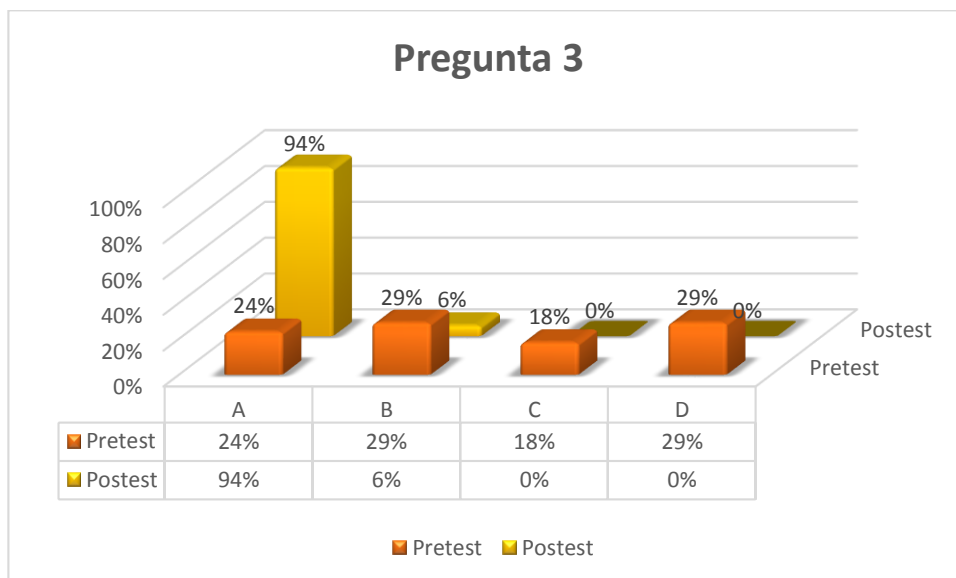
**Gráfica 13.** Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 2.

### Pregunta 3.

Es notable el cambio en el aprendizaje de los estudiantes mostrando para la pregunta tres un aumento del 70%, quienes eligieron la respuesta correcta. De esta forma se demuestra un alto conocimiento (94% de los estudiantes) y un buen dominio sobre la representación de los enlaces químicos a partir de las estructuras de Lewis, así mismo conceptos relacionados con electrones de valencia, la ley del octeto y en especial las excepciones de esta ley. Al elegir la opción correcta los estudiantes reconocen la excepción del octeto en el Boro,



elemento cuya estabilidad se alcanza con seis electrones en su nivel energético más externo. Los resultados se pueden apreciar en la gráfica 14.

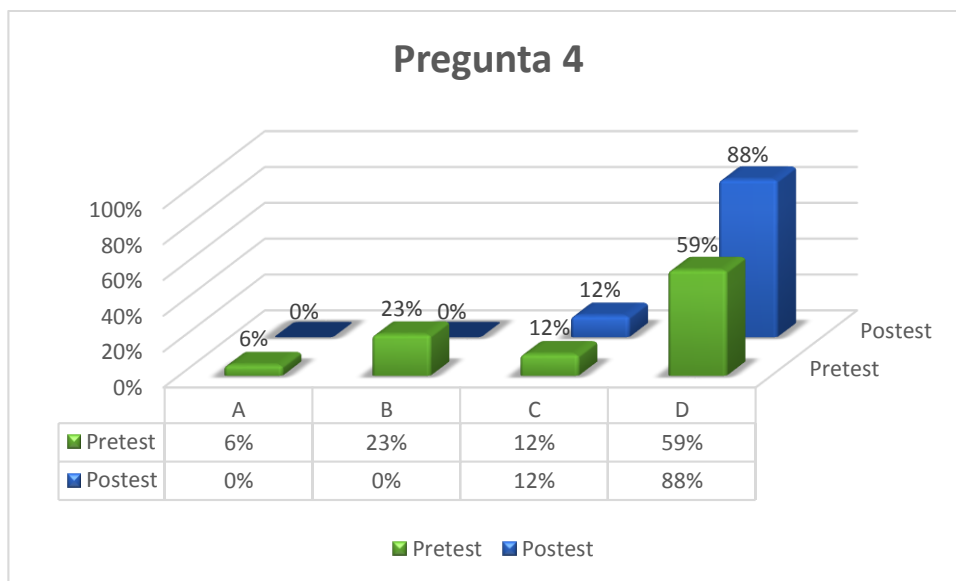


**Gráfica 14.** Comparación de resultados del pretest y posttest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 3.

#### **Pregunta 4.**

La actual pregunta permite evidenciar los conocimientos de los estudiantes sobre la naturaleza de enlace covalente y enlaces múltiples (triples), la formación de estructuras de Lewis y el uso teórico de las electronegatividades. Se manifiesta entonces un aumento del 29% de estudiantes que eligen la respuesta correcta (D) para un total del 88% que alcanzaron aprendizaje en las temáticas antes mencionadas. La gráfica 15 muestra dichos resultados.

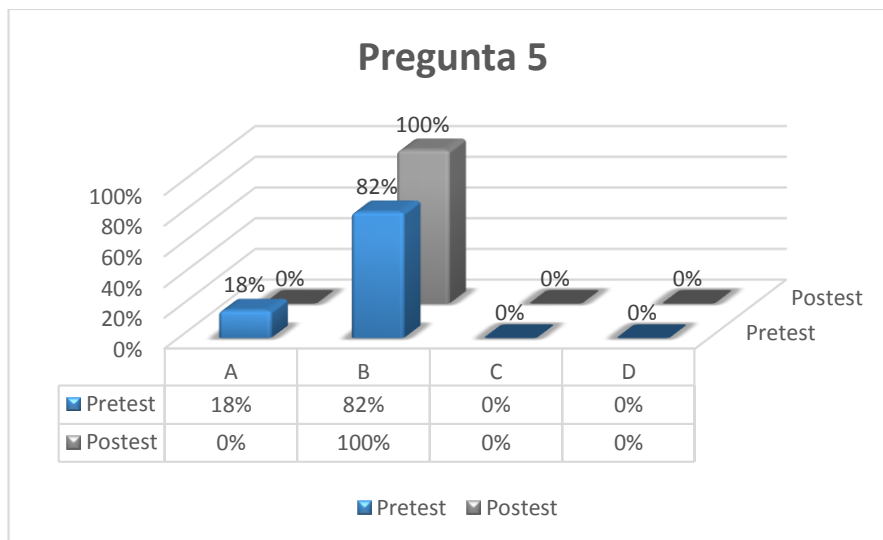
Las preguntas 3 y 4 nos permiten determinar la validez e importancia de la realización de actividades de nivelación que ayudan al estudiante a dejar atrás los obstáculos epistemológicos e ideas previas que dificultan el aprendizaje de un nuevo concepto. Para el presente trabajo se puede ultimar excelentes resultados de las explicaciones y talleres de nivelación, demostrados en los nuevos porcentajes donde se eligen las respuestas correctas.



**Gráfica 15.** Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 4.

### Pregunta 5.

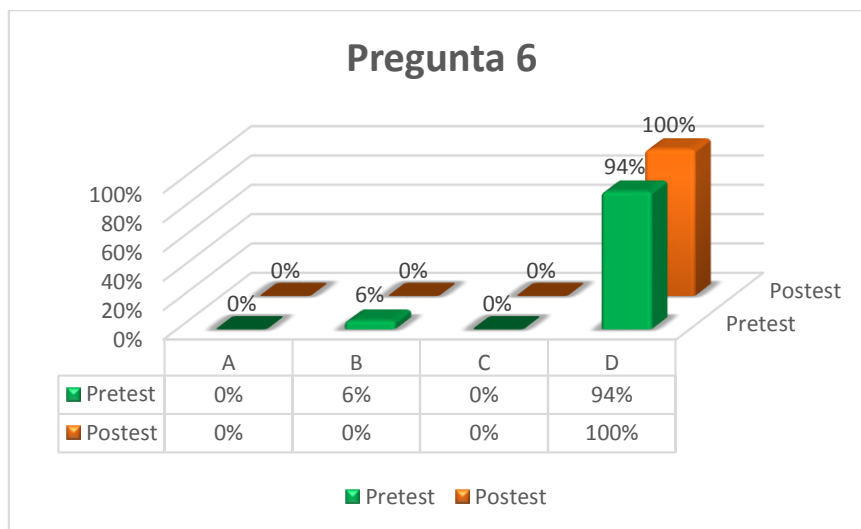
En el pretest el 82% de los estudiantes habían demostrado conocimiento sobre la geometría de poliedros, esto permitió un aprendizaje profundo en el momento de relacionar la disposición de los átomos en las moléculas y determinar la geometría. En efecto el postest presenta que el 100% de los estudiantes eligen la respuesta correcta (B), es decir, el 18% restante, alcanzaron conocimientos que les permite relacionar la geometría de poliedros y por tanto facilitar la determinación de la geometría molecular. Los resultados se encuentran representados en la gráfica 16.



**Gráfica 16.** Comparación de resultados del pretest y posttest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 5.

### Pregunta 6.

Al igual que en el interrogante anterior donde se pretendía reconocer los conocimientos de los estudiantes sobre la geometría de poliedros, los cuales se relacionan directamente con la geometría molecular, un gran porcentaje de la población (94%) eligió la respuesta correcta (D) desde el pretest, así se muestra que luego de la aplicación de la estrategia la totalidad de la población realiza la misma elección en el posttest demostrando apropiación de los conceptos relacionados. Los resultados se encuentran representados en la gráfica 17.

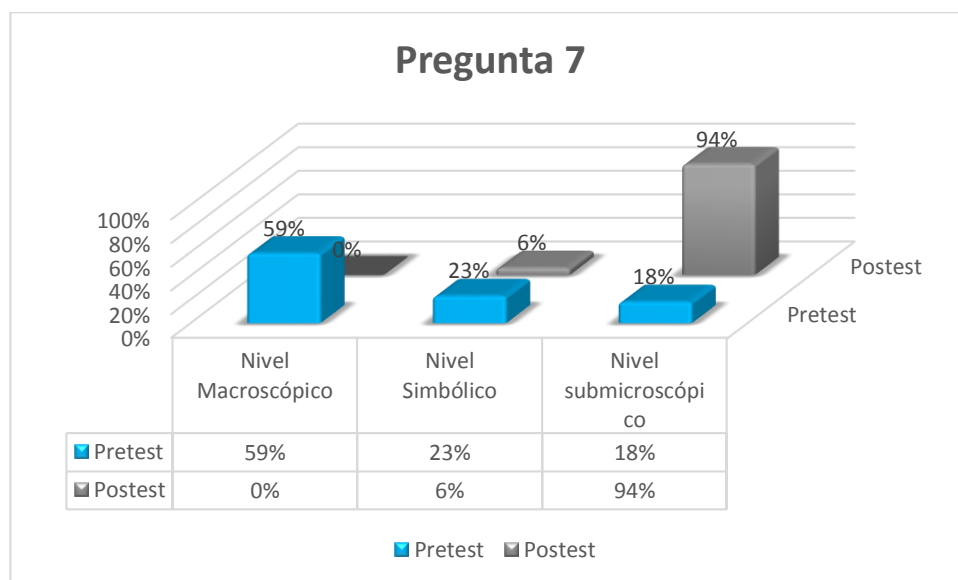


**Gráfica 17.** Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 6.

### Pregunta 7.

Inicialmente en el pretest los estudiantes realizaron sus modelos en dos dimensiones (Dibujos) donde la mayoría de ellos demostraron tener un nivel representacional macroscópico en comparación con el simbólico y el submicroscópico, siendo los últimos de gran importancia para comprender y aprender los conceptos de la química, los cuales poseen un alto nivel de abstracción.

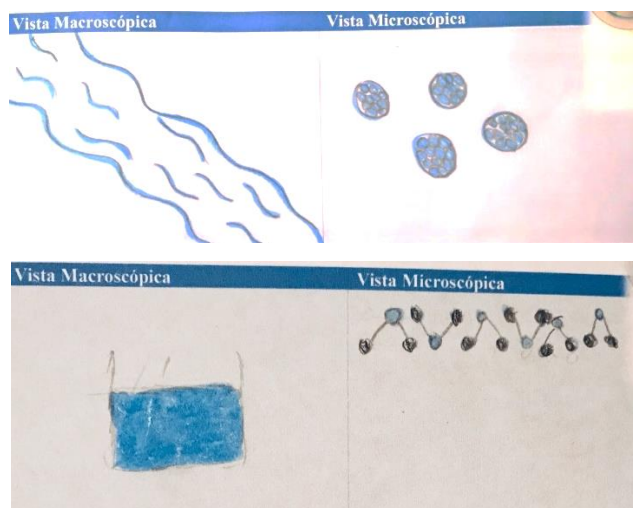
Para el postest los estudiantes realizaron modelos haciendo uso de moléculas, es decir plasmaron y diferenciaron en el papel el nivel macroscópico y el nivel submicroscópico, demostrando manejar simultáneamente los dos niveles del pensamiento. De esta forma, se evidencia un aumento del 76% para un total de 94% de estudiantes que utilizan el nivel submicroscópico para representar las moléculas propuestas e incluso hicieron uso de la geometría molecular para representar dichos compuestos. Los resultados anteriores se presentan en la gráfica 18.



**Gráfica 18.** Comparación de resultados del pretest y postest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 7.

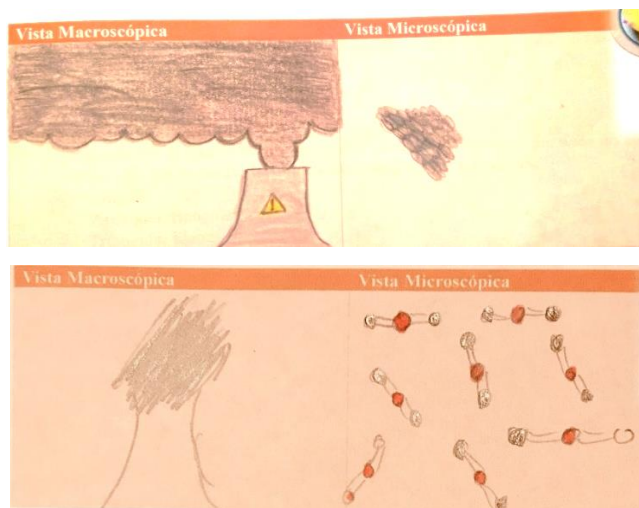
A continuación se presentarán algunos ejemplos, de los modelos realizados por los estudiantes (1,2,3,4,5,y 6) analizados anteriormente en el pretest, donde se muestra la diferencia entre dos niveles representacionales en química, aprendidos y usados por los estudiantes.

### Estudiante 1.



**Figura 20.** Modelo explicativo sobre la molécula del agua antes y después de aplicar la estrategia.

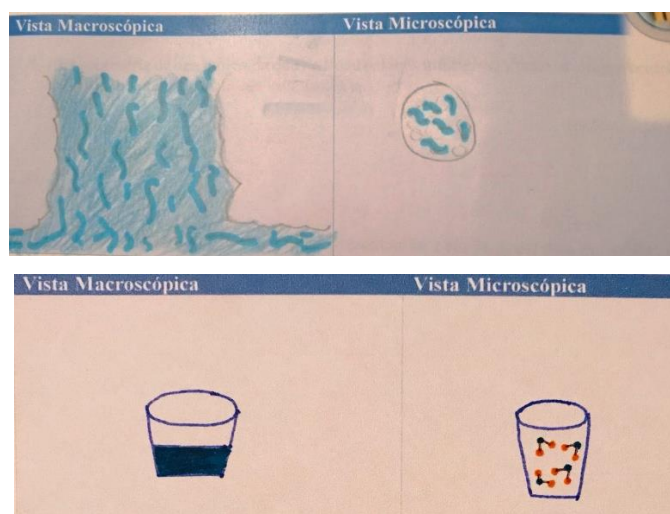
El estudiante menciona “es angular porque los electrones no enlazantes hace que los átomos no sean lineales y sean curvados”.



**Figura 22.** Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono antes y después de aplicar la estrategia.

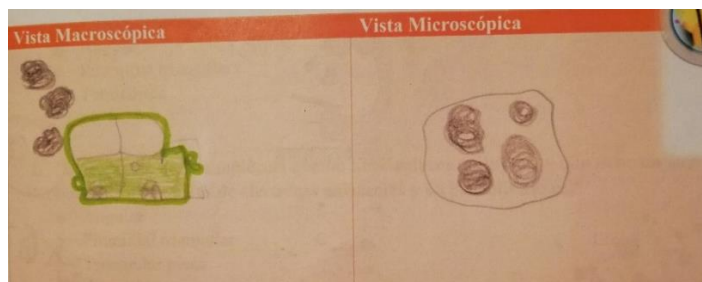
El estudiante escribe “es lineal, también es un enlace doble porque necesitan la estabilidad, es lineal porque no tiene pares de electrones de no enlace que generen fuerza de repulsión”

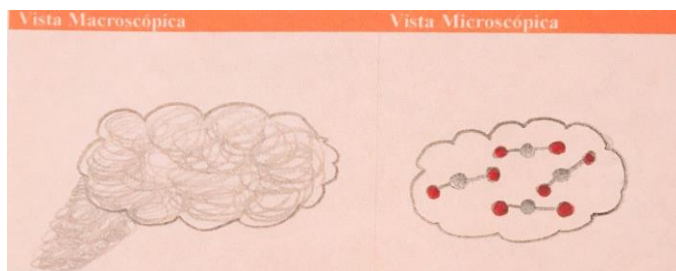
### Estudiante 2.



**Figura 22.** Modelo explicativo sobre la molécula del agua antes y después de aplicar la estrategia.

El estudiante afirma “lo dibujé así porque así es la geometría molecular del agua y empecé haciendo la estructura de Lewis y después transformarla a un modelo de la geometría molecular”.

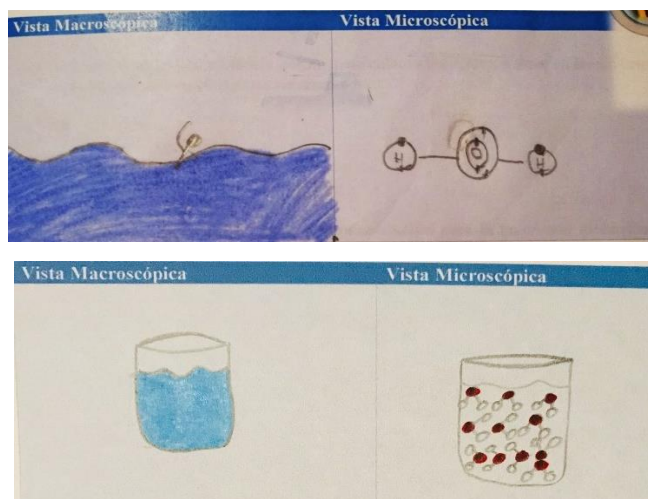




**Figura 23.** Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono antes y después de aplicar la estrategia.

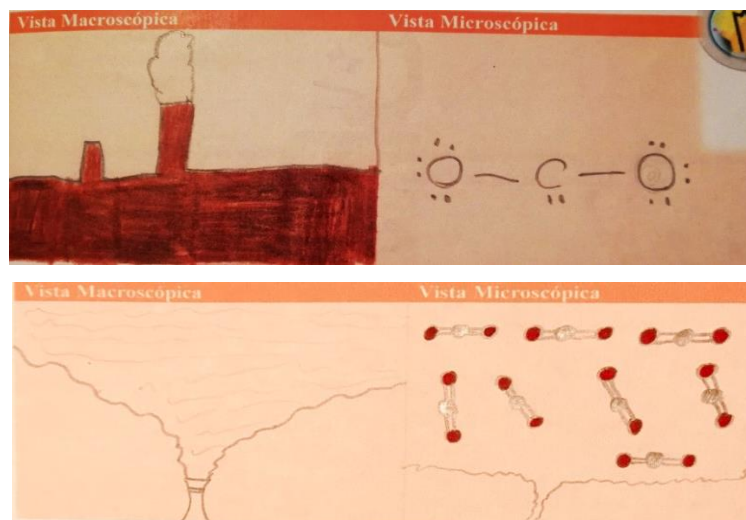
El estudiante señala “lo dibujé así porque esa es su geometría molecular y llegué a esto, primero haciendo la estructura de Lewis y después transformándola en un modelo de la geometría molecular”.

### Estudiante 3.



**Figura 24.** Modelo explicativo sobre la molécula del agua antes y después de aplicar la estrategia.

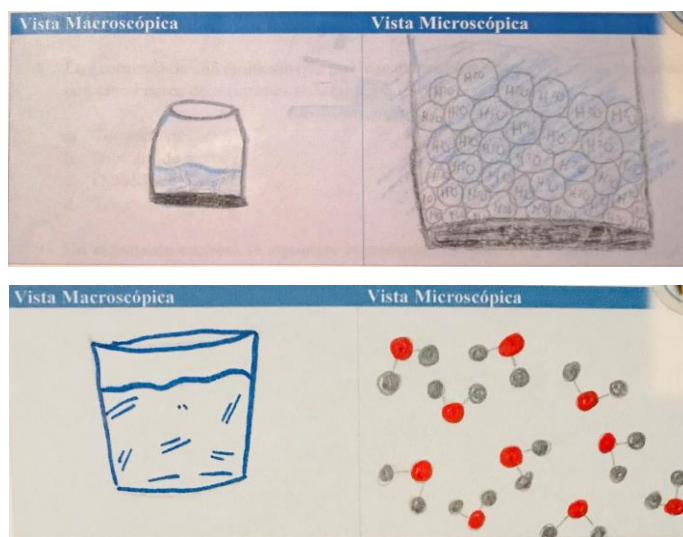
El estudiante afirma “lo representé así ya que el oxígeno y el hidrógeno se unen mediante enlaces simples y tienen dos pares libres que le generan repulsión, por ello esa forma”.



**Figura 25.** Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono antes y después de aplicar la estrategia.

El estudiante escribe “lo representé así, ya que el carbono para alcanzar la ley del octeto crea enlaces dobles con el oxígeno y así alcanzar estabilidad molecular”

#### Estudiante 4.



**Figura 26.** Modelo explicativo sobre la molécula del agua antes y después de aplicar la estrategia.



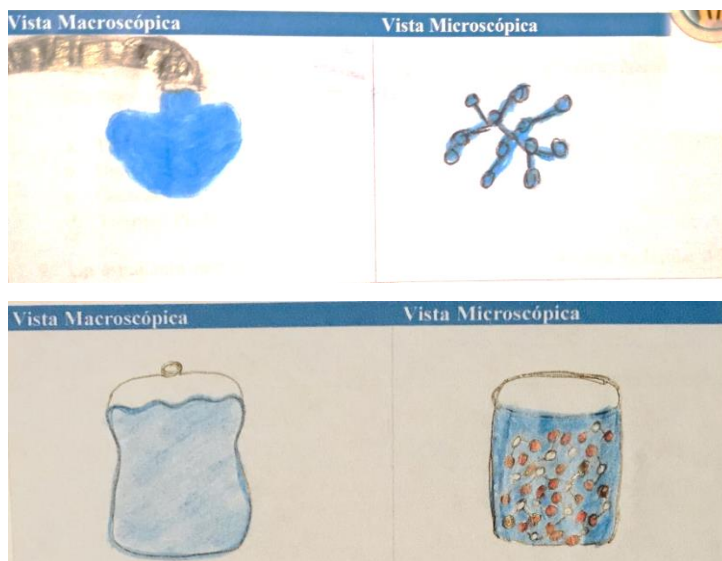
El estudiante menciona “circunferencias de color rojo y gris, como oxígeno e hidrógeno respectivamente, en forma angular y con dos enlaces simples”.



*Figura 27. Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono antes y después de aplicar la estrategia.*

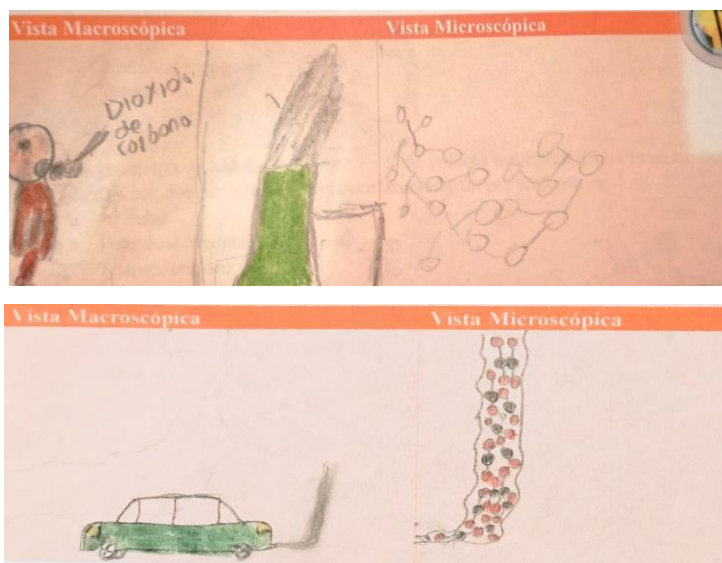
El estudiante escribe “tres átomos, rojo y gris oscuro, como oxígeno y carbono respectivamente, lineal y sin electrones libres”

### Estudiante 5.



*Figura 28. Modelo explicativo sobre la molécula del agua antes y después de aplicar la estrategia.*

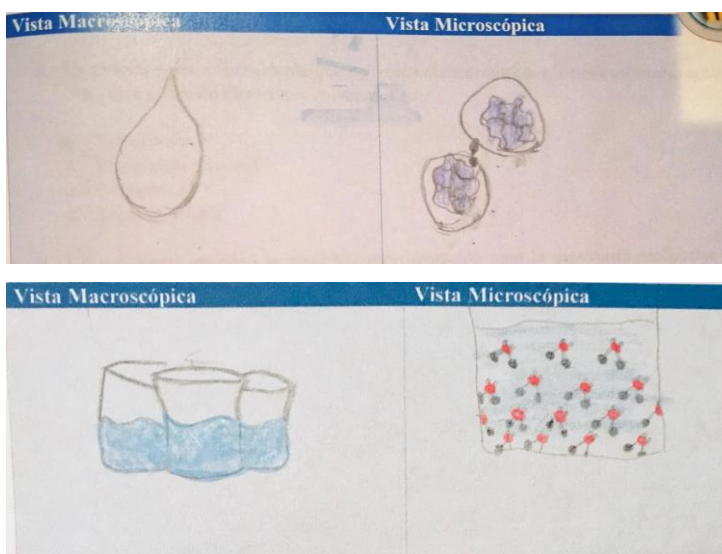
El estudiante afirma “lo hice porque así es en realidad, su forma es angular ya que tiene dos pares de electrones libres en su átomo central, generando fuerza de repulsión”.



*Figura 29. Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono antes y después de aplicar la estrategia.*

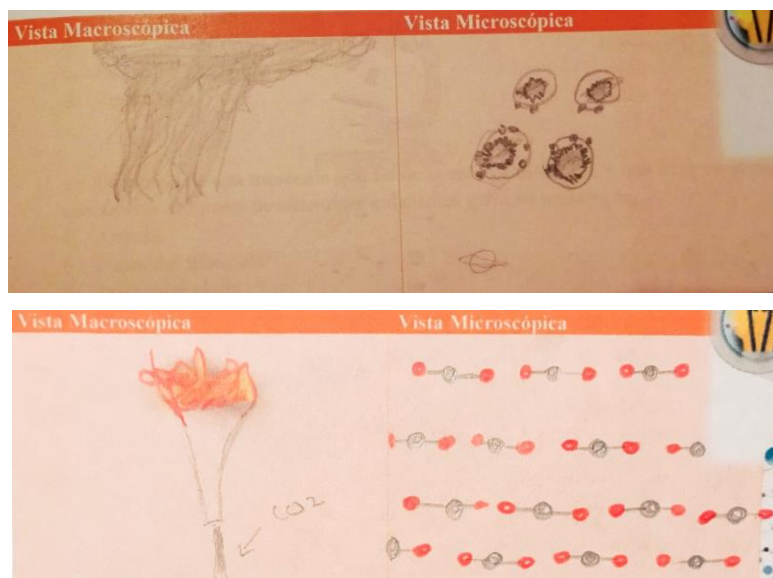
El estudiante menciona “es lineal ya que los átomos de los gases están muy separadas y en su átomo central no tiene pares libres o sea que no hay algo que genere fuerza de repulsión”.

### Estudiante 6.



*Figura 30. Modelo explicativo sobre la molécula del agua antes y después de aplicar la estrategia.*

El estudiante escribe “El modelo tal es dos de (H) y uno de (O), pero no es lineal porque tiene un par libre y se repelen”.



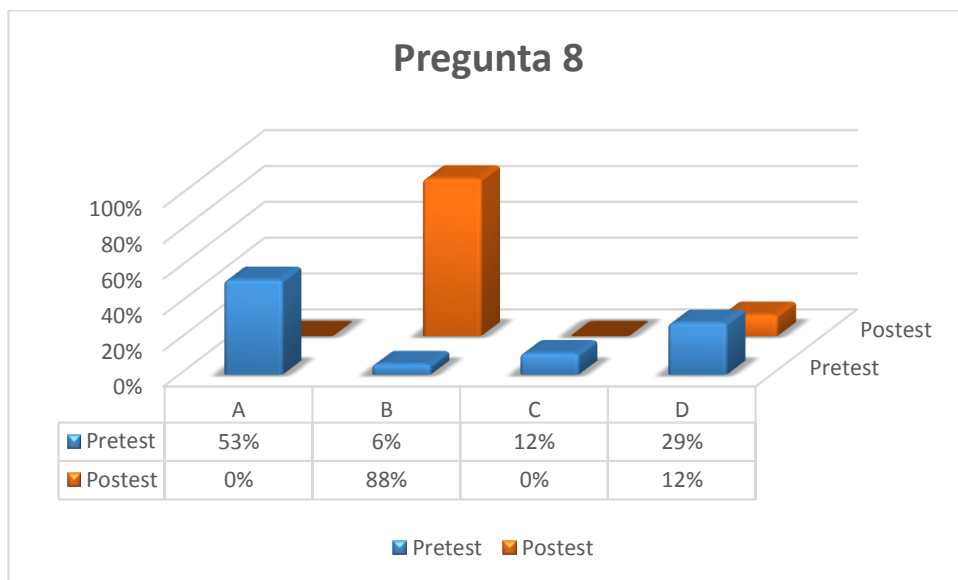
**Figura 31.** Modelo explicativo sobre la molécula del dióxido de carbono antes y después de aplicar la estrategia.

El estudiante indica “las moléculas del CO<sub>2</sub> son dos oxígenos y un carbono y es lineal porque no tiene pares libres”.

### Pregunta 8.

Con un aumento del 82% y un total del 88% de estudiantes que eligen la respuesta correcta, se puede concluir la capacidad de la población para aplicar los conceptos aprendidos y relacionarlos con la forma tridimensional de las moléculas. Los resultados obtenidos para este interrogante nos indican un evidente aprendizaje respecto al proceso mental y teórico, requerido para definir la geometría molecular en un compuesto hipotético, de acuerdo con las instrucciones dadas en el enunciado. Así se comprueba que los estudiantes superaron obstáculos epistemológicos relacionados con la formación de estructuras de Lewis, la distribución de los electrones por cada átomo, pares de electrones enlazantes y solitarios, así

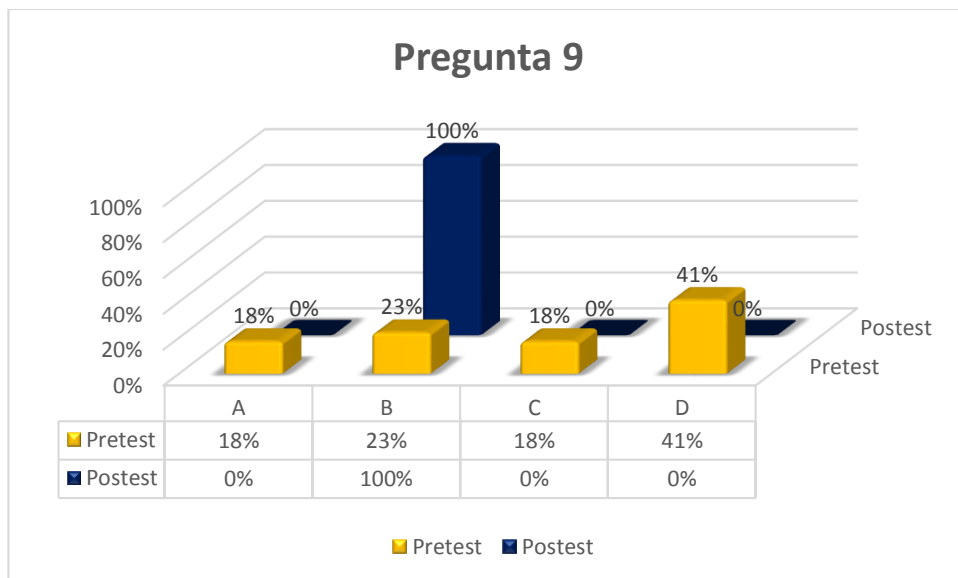
como su comportamiento en la determinación de la geometría de las moléculas. Los resultados se pueden apreciar en la gráfica 19.



**Gráfica 19.** Comparación de resultados del pretest y posttest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 8.

### Pregunta 9.

El 100% de los estudiantes se apoyan en la opción B (Respuesta correcta), se puede observar un aumento significativo en un 77% de estudiantes que al elegir esta respuesta demuestran haber comprendido el modelo de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia, así como la importancia de los pares de electrones libres en el átomo central como responsables de una forma diferente a la lineal. Para la actual pregunta los estudiantes aseguran que la molécula del agua se encuentra errada como aparece en el enunciado, puesto que el átomo central (oxígeno) posee pares de electrones libres que generan repulsión sobre los hidrógenos, por lo tanto no podría ser lineal. Los resultados se exponen en la gráfica 20.

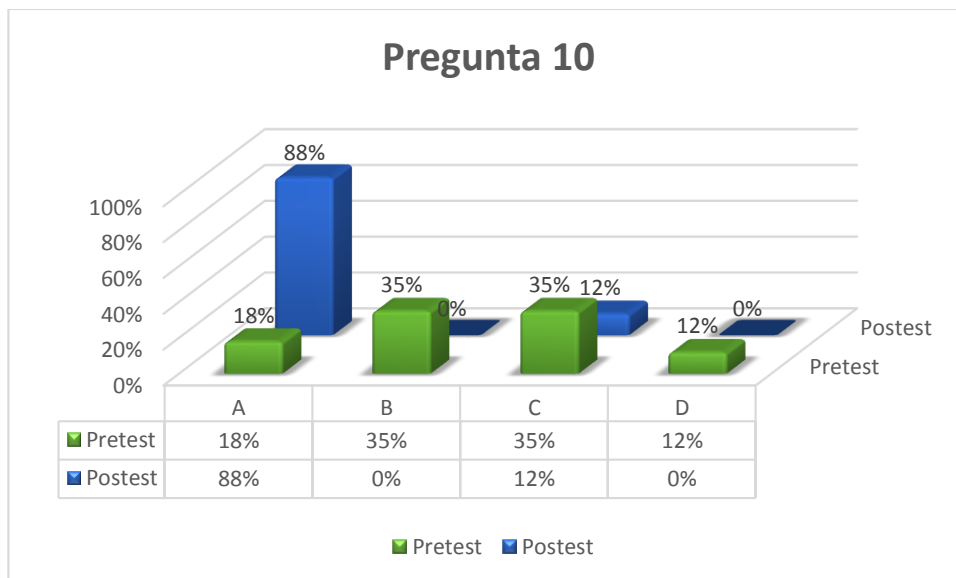


**Gráfica 20.** Comparación de resultados del pretest y posttest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 9.

### Pregunta 10.

Para esta pregunta los estudiantes analizaron una molécula real representada con su fórmula condensada ( $\text{H}_2\text{CO}$ ), inicialmente solo un 18% eligió la respuesta correcta, sin embargo, luego de la enseñanza de los conceptos a partir de la estrategia basada en los modelos y el modelaje científico, el 80% de los estudiantes eligieron la opción “trigonal plana” revelando un aumento significativo del 62%, la mayoría de ellos especificaron la estructura de Lewis y plasmaron el modelo usando dibujos con circunferencias para representar los elementos y líneas para los enlaces. Los resultados pueden ser observados en la gráfica 21.

Se puede concluir entonces que el diseño de actividades basadas en la enseñanza a partir de los modelos y el modelaje científico permiten aprendizajes profundos en los estudiantes puesto que les permite desarrollar habilidades del pensamiento, relacionar el conocimiento con la experiencia real y cotidiana, incorporar el análisis lógico y usar el juicio crítico.

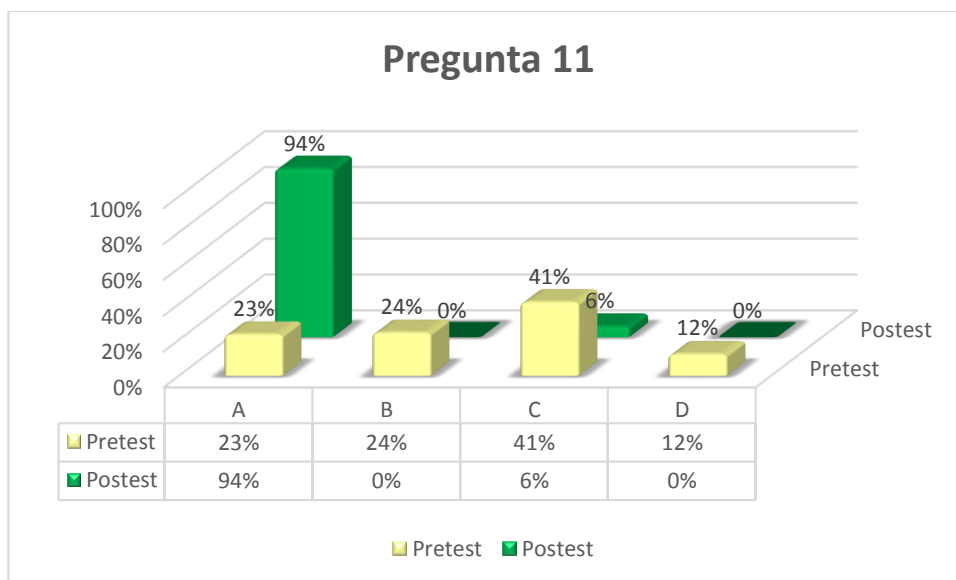


**Gráfica 21.** Comparación de resultados del pretest y posttest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 10.

### Pregunta 11.

Al igual que en la pregunta 8, en este interrogante se pretendía hallar los conocimientos de los estudiantes sobre conceptos relacionados con la geometría molecular cuando se habla de un compuesto hipotético y se dan instrucciones especificando tanto los pares enlazantes como los pares libres.

Se puede observar un aumento significativo de un 71% para un total del 94% de los estudiantes que eligieron la respuesta correcta, de esta manera se demuestra que los estudiantes tienen en cuenta los pares de electrones libres en el átomo central para determinar la geometría del compuesto y nuevamente se concluye la efectividad de la secuencia de actividades diseñada a partir de los modelos y el modelaje científico para la enseñanza y el aprendizaje profundo del concepto. La gráfica 22 muestra los resultados obtenidos en la pregunta 11.



**Gráfica 22.** Comparación de resultados del pretest y posttest representados en porcentajes sobre las respuestas entregadas por los estudiantes en la pregunta 11.

## **5. Secuencia didáctica para la enseñanza del concepto geometría molecular**

En este capítulo se presenta la secuencia didáctica basada en la estrategia propuesta por Chamizo y García (2010), sobre los modelos el modelaje científico con el fin de alcanzar aprendizajes profundos del concepto geometría molecular. Esta secuencia se construyó a partir de los siguientes aspectos:

- Diseño del cuestionario inicial de ideas previas (pretest) a partir de la revisión histórica y epistemológica del concepto.
- Aplicación del cuestionario inicial con el objetivo de hallar las ideas alternativas sobre el concepto geometría molecular y los obstáculos epistemológicos frente al aprendizaje del concepto.
- Diseñar y desarrollar las diferentes actividades con las cuales se espera superar los obstáculos epistemológicos e ideas previas sobre el concepto geometría molecular, cimentadas en la metodología propuesta por Chamizo y García (2010) sobre la enseñanza de las Ciencias Naturales a partir de los modelos y el modelaje científico, así como las sugerencias aportadas por Justi (2006) sobre las etapas y sub etapas que deben estar presentes en el modelaje científico.

### **5.1 Objetivos de la secuencia**

Al finalizar la aplicación y enseñanza del concepto geometría molecular a partir de la secuencia basada en los modelos y el modelaje científico, los estudiantes deberían:

- Reconocer y aplicar los conceptos aprendidos (estructura atómica, ley del octeto y sus excepciones, estructuras de Lewis, modelo de repulsión de los pares de electrones de valencia), que posibiliten superar los obstáculos epistemológicos y alcanzar aprendizajes profundos del concepto geometría molecular.



- Utilizar la modelación como estrategia para desarrollar habilidades del pensamiento como la observación, descripción, predicción, propongan y realicen modelos propios para explicar fenómenos, defiendan sus modelos y los comparen con los aceptados por la comunidad científica.
- Recurrir a herramientas tecnológicas como los Phets como una ayuda didáctica para simular el comportamiento de las moléculas respecto a su geometría molecular, interactuando con los enlaces (sencillos, dobles y triples), los pares de electrones solitarios, los ángulos entre átomos y la disposición tridimensional de los mismos.

## 5.2 Secuenciación de actividades

De acuerdo con la estrategia propuesta por Chamizo y García (2010), se modifica y establece una propuesta con una serie de actividades a realizar en la secuencia didáctica basada en los modelos y el modelaje científico, con sus respectivos objetivos y obstáculos epistemológicos a superar.

### 5.2.1 Introducción a los modelos y el modelaje científico

**Actividad 1.** Conociendo las ideas sobre modelos y modelaje 1 (**pegamento**). Tomado y modificado de Chamizo & García (2010).

Objetivos:

-Introducir a los estudiantes en el uso de modelos, el proceso de modelaje y discutir de forma explícita sus características.

- Promover que los estudiantes piensen en el proceso de construcción que siguieron para llegar al modelo y así favorecer el desarrollo de habilidades metacognitivas.

Actividades:

Considera la siguiente situación: Se ha diseñado un nuevo pegamento para papel y madera más fuerte que los pegamentos normales y que además seca inmediatamente. Los químicos que lo han inventado (y que le dieron el nombre de “**PEGAMAX**”) no saben aún cómo funciona, de allí que se requiere saber, ¿por qué pega este nuevo pegamento?

1. Como el “**PEGAMAX**” es un nuevo pegamento no hay información en libros, en revistas o internet de por qué lo hace. Piensa en el asunto, dibuja y explica con un modelo a nivel microscópico (empleando partículas) cómo funciona el “**PEGAMAX**”.

*Tabla 8. Resultados de los modelos sobre el pegamento.*

Modelo microscópico PEGAMAX	EXPLICACIÓN

2. Elaborar un modelo no es una tarea fácil y, como en muchas otras situaciones de la vida, a veces es más importante el proceso (serie de pasos) que el resultado (su modelo). Por eso, independientemente de cuál haya sido el modelo que dibujaste, indica en la siguiente tabla los pasos que siguieron para hacerlo y por qué.

**Tabla 9.** Pasos para llegar a los modelos propuestos.

Paso	¿Qué hiciste en este paso? ¿En qué pensaste? ¿Qué tomaste en cuenta?	¿Qué finalidad tiene este paso? ¿Por qué lo hiciste de esta forma?
1		
2		
3		
4		

3. En grupos dispuestos en el aula, explicar y defender el modelo realizado ¿Por qué tu modelo explica mejor el fenómeno? ¿Cuáles son las características del modelo?

---



---



---



---

4. Compara el proceso de producción del modelo que sugeriste con el de los otros equipos. ¿Son iguales? ¿Por qué son diferentes? ¿Es similar la construcción que hicieron de modelos para el pegamento con el trabajo que hacen los científicos? Anoten sus conclusiones aquí.

---



---



---



---

5. Comparación y contrastación con el modelo aceptado por la comunidad científica. ¿Cuáles son las semejanzas y acercamientos con tu modelo? ¿Cuáles son las diferencias encontradas? ¿Cómo se limita tu modelo para explicar el fenómeno?

---

---

---

---

---

**Actividad 2.** Conociendo las ideas sobre modelos y modelaje 2 (**la caja negra**). Tomado y modificado de Chamizo y García (2010).

Objetivos:

- Construir interpretaciones o modelos, a partir de lo que perciben por medio de los sentidos para llegar a la conclusión de que no necesariamente coinciden con la realidad.

-Comparar esta actividad con el trabajo científico, donde no hay posibilidad de abrir la caja para contrastar, sino que se aceptan los modelos que mejor describen y explican las características de un fenómeno específico.

**Actividades:**

1. Cada estudiante construye una caja negra con las medidas entregadas por el docente y guarda allí 5 objetos. En parejas se propone intercambiar las cajas, luego se pide a los estudiantes observar y experimentar con los sentidos la caja negra. De acuerdo con su experiencia representar a partir de un dibujo lo que hay dentro de la caja.



2. Explica las razones por las cuales dibujaron lo anterior.

---

---

---

---

---

---

3. Describe detalladamente lo que hay en la caja.

---

---

---

---

---

---

4. Compara tu dibujo (MODELO) con lo que hay en la caja (REALIDAD). Escribe cuáles son las semejanzas y las diferencias, y a qué crees que se deben éstas.

**Tabla 10.** Comparación entre los modelos realizados y los objetos en la caja (realidad).

DIBUJO (MODELO)	CAJA (REALIDAD)

### 5.2.2 Refuerzo y nivelación de conceptos asociados

Objetivos:

-Afianzar y fortalecer conceptos importantes para la comprensión del concepto geometría molecular como lo son: electrones de valencia, ley del octeto y sus excepciones, formación de estructuras de Lewis.

Obstáculos a superar o aprendizajes esperados:

-Los estudiantes poseen dificultades al realizar la distribución electrónica y establecer los electrones de valencia para cada átomo.

-Algunos estudiantes no reconocen la ley del octeto y el concepto de estabilidad electrónica, si lo hacen carecen de información sobre las excepciones a esta ley.

-Obstáculos epistemológicos en la construcción de estructuras de Lewis para representar los enlaces y electrones en una molécula específica.

## Actividades:

1. Refuerzo a través de clase magistral haciendo uso de diapositivas.

Realizar una clase magistral para recordar a los estudiantes los conceptos donde se encontraron los obstáculos epistemológicos, así mismo se presentó gran interacción entre el discurso del docente y la participación activa de todos los estudiantes.

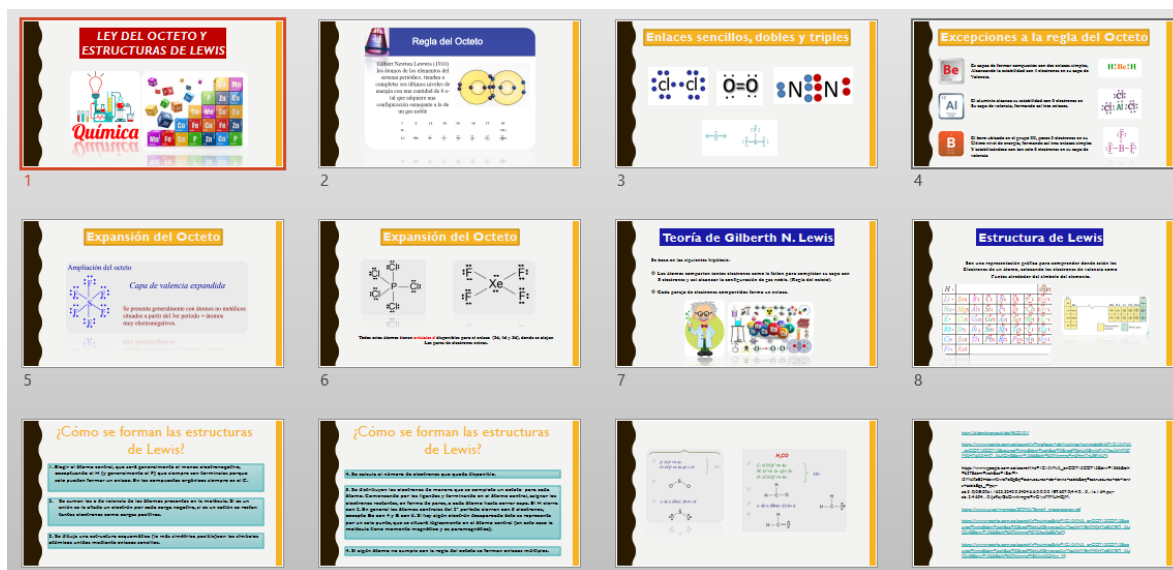


Figura 32. Diapositivas utilizadas para la explicación de conceptos como ley del octeto y estructuras de Lewis.

2. Actividad lúdica “formación de estructuras de Lewis”.

Con anterioridad se pide a los estudiantes recortar esferas de diferentes colores (átomos) y barras en material foamy (enlaces), y otras esferas de color negro mucho más pequeñas para simular los electrones. Se establece una competencia por equipos equivalente a la realización de las estructuras de Lewis para las moléculas propuestas por el profesor. El primero en finalizar correctamente se llevará los puntos.



**Figura 33.** Estudiantes realizando la actividad lúdica sobre las estructuras de Lewis.

### 3. Taller aplicativo.

De acuerdo con el modelo desarrollado por Lewis para representar los enlaces químicos, complete la tabla 11.

**Tabla 11.** Ejercicio electrones de valencia y estructuras de Lewis.

Molécula	Electrones de valencia totales	Estructura de Lewis
H <sub>2</sub> O		
CO <sub>2</sub>		
BF <sub>3</sub>		
NH <sub>3</sub>		
CCl <sub>4</sub>		



**Tabla 11 (Continuación)**

<b>Molécula</b>	<b>Electrones de valencia totales</b>	<b>Estructura de Lewis</b>
SiF <sub>4</sub>		
H <sub>2</sub> S		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
PF <sub>6</sub> <sup>-</sup>		
ICl <sub>4</sub> <sup>-</sup>		

### 5.2.3 Modelos y modelaje en la geometría molecular

Objetivos:

-Determinar los niveles de representación de los estudiantes a partir de la construcción de modelos en dos y tres dimensiones sobre la forma como perciben las moléculas.

-Desarrollar habilidades del pensamiento de gran importancia para alcanzar aprendizajes profundos sobre la geometría molecular cimentados en describir, predecir, argumentar, establecer características, modelar los fenómenos y defenderlos.

Obstáculos a superar o aprendizajes esperados:

-Representaciones en su mayoría macroscópicas, la presencia del nivel simbólico y submicroscópico es casi nulo.

-Ausencia de modelos donde se especifique la geometría de las moléculas a partir de la teoría de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia.

**Actividades:**

Lee con cuidado cada uno de los párrafos, escribe las respuestas en los espacios en blanco, realice la observación de las sustancias físicas y digitales y realiza los modelos que se solicitan.

1. **OBSERVA:** Realiza la observación de las sustancias dispuestas en varios recipientes (sin ningún riesgo biológico) y si es posible genere contacto con las mismas.

¿Qué características poseen estas sustancias?

---

---

---

---

---

---

2. **PREDICE:**

**Todos los objetos tangibles que conocemos tienen una forma, algunas de ellas regular y otra irregular.**

Imagine que tiene acceso al último microscopio con un alcance a nivel molecular. De acuerdo con las siguientes sustancias que se presentan en la tabla, realice un dibujo (modelo), de cómo vería las partículas que las conforman.

*Tabla 12. Modelos macroscópicos y sub-microscópicos para diferentes compuestos.*

Sustancia	Modelo Macro	Modelo Molecular
<b>AGUA</b>		
<b>DIOXIDO DE CARBONO</b>		
<b>ALCOHOL ETÍLICO</b>		
<b>TRICLORURO DE ALUMINIO</b>		

- 3. MODELA EN 3D.** Con los materiales disponibles (plastilina, palillos, esferas de icopor (poliestireno), porcelanacrón, pinturas) realiza un modelo tridimensional para cada sustancia a estudiar de acuerdo con la forma que imaginas.
- 4. ANALIZA:** En la tabla 13 especifica los pasos que llevaste a cabo para la realización y creación de tus modelos.

**Tabla 13.** Pasos para llegar a los modelos propuestos sobre los compuestos observados.

PASO	¿QUÉ HICISTE EN ESTE PASO?	¿QUÉ FINALIDAD TIENE ESTE PASO?
1		
2		
3		
4		

- 5. ARGUMENTA Y DEFIENDE:** Describe y justifica por qué tu modelo es más acertado en la explicación de la forma molecular de estas sustancias. ¿por qué es válido? ¿Cuáles son sus ventajas y desventajas? Socializa y defiéndelo con tus compañeros.

---



---



---



---



---



---



---

Luego de realizar la actividad de forma individual los estudiantes se reúnen en 5 equipos designados por el docente para discutir, defender y argumentar sus modelos. Después de elegir uno, los cinco estudiantes proceden a exponer sus modelos a todo el grupo.

### **5.2.4 Introducción a nuevos conocimientos: análisis del modelo aceptado por la comunidad científica**

Objetivos:

- Introducir a los estudiantes al nuevo conocimiento para reconocer los modelos aceptados actualmente por la comunidad científica que explican la forma tridimensional de las moléculas.

-Reconocer la importancia de la geometría molecular y el modelo de repulsión de los electrones de valencia para su determinación teórica.

Obstáculos a superar o aprendizajes esperados:

-Ausencia de representaciones moleculares donde se aprecie algún tipo de geometría.

-Relación directa de la forma macroscópica de los compuestos con su forma microscópica.

-No se establece ninguna relación entre la distribución electrónica, las estructuras de Lewis, los pares de electrones enlazantes y solitarios con la geometría molecular de los compuestos.

***Actividades:***

1. Realiza lectura comprensiva del texto “Geometría molecular”, analiza la tabla donde se establecen las posibles geometrías moleculares.

## GEOMETRÍA MOLECULAR

Tomado de Brown, 2003. p.315-320.

Anteriormente estudiamos las estructuras de Lewis, un modelo que nos ayuda a entender la composición de las moléculas y sus enlaces covalentes. Sin embargo, no muestran uno de los aspectos más importantes de las moléculas: su forma tridimensional. La forma y el tamaño de las moléculas dependen de los ángulos y distancias entre los núcleos de sus átomos componentes.



**Figura 34. Micrografía electrónica de barrido coloreada que muestra los bastones (amarillo) y los conos (azul) De la retina.**

El tamaño y la forma de una molécula de una sustancia dada, junto con la fuerza y polaridad de sus enlaces, determinan en buena medida las propiedades de esa sustancia. Algunos de los ejemplos más impresionantes de la importancia del tamaño y la forma se observan en las reacciones bioquímicas. Por ejemplo, un cambio pequeño en el tamaño o la forma de una molécula medicinal puede aumentar su eficacia o reducir sus efectos secundarios.

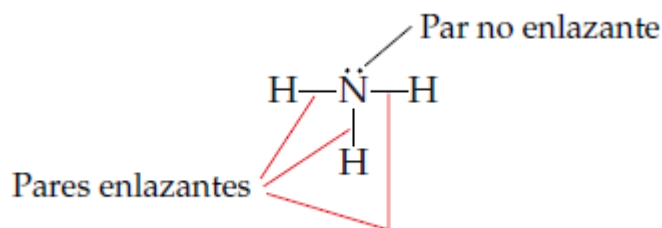
Los sentidos del olfato y la vista dependen, en parte, de la forma molecular. Cuando olemos, las moléculas del aire pasan por sitios receptores de la nariz. Si las moléculas tienen la forma y tamaño correctos, podrán encajar en dichos sitios receptores, y se transmitirán impulsos nerviosos al cerebro. El cerebro identifica entonces los impulsos como un aroma específico, digamos el de pan recién horneado. La nariz es tan buena para reconocer moléculas que dos sustancias pueden producir diferentes sensaciones de olor aunque la diferencia entre sus estructuras moleculares sea tan sutil como la que hay entre la mano izquierda y la derecha de una persona.

## EL MODELO TRPECV

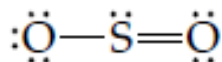
Imagine que ata dos globos idénticos por sus extremos. Los globos se orientan naturalmente de modo que apuntan en direcciones opuestas; es decir, tratan de “estorbarse mutuamente” lo menos posible. Si agregamos un tercer globo, los globos se orientarán hacia los vértices de un triángulo equilátero. Si agregamos un cuarto globo, los globos adoptarán naturalmente una forma tetraédrica. Así, es evidente que hay una geometría óptima para cada número de globos. En cierto sentido, los electrones de las moléculas se comportan como los globos.



Hemos visto que se forma un enlace covalente sencillo entre dos átomos cuando un par de electrones ocupa el espacio entre los átomos. Así pues, un **par enlazante** de electrones define una región en la que es más probable encontrar a los electrones. Llamaremos a semejante región un **dominio de electrones**. Asimismo, un **par no enlazante** (o *par solitario*) de electrones define un dominio de electrones que está situado principalmente en un átomo. Por ejemplo, la estructura de Lewis del amoníaco tiene en total cuatro dominios de electrones en torno al átomo central de nitrógeno (tres pares enlazantes y uno no enlazante):



Cada enlace múltiple de una molécula también constituye un solo dominio de electrones. Así pues, la estructura de resonancia siguiente para el  $\text{SO}_2$  tiene tres dominios de electrones en torno al átomo central de azufre (un enlace sencillo, un doble enlace y un par no enlazante de electrones):



En general, entonces, *un dominio de electrones consiste en un par no enlazante, un enlace sencillo y un enlace múltiple.*

Dado que los dominios de electrones tienen carga negativa, se repelen entre sí; por tanto, al igual que los globos del ejemplo anterior, tratarán de acomodarse lo más alejados posible entre sí. *El mejor acomodo de un número dado de dominios de electrones es el que minimiza las repulsiones entre ellos.* Esta sencilla idea es la base del modelo RPECV. De hecho, la analogía entre los dominios de electrones y los globos es tan exacta que se observan las mismas geometrías preferidas en ambos casos. Así, como los globos, dos dominios de electrones se acomodan *linealmente*, tres dominios se acomodan en forma *trigonal plana*, y cuatro se disponen *tetraédricamente*. Estas disposiciones, junto con las de cinco dominios de electrones (*bipirámide trigonal*) y seis dominios de electrones (*octaédrica*).

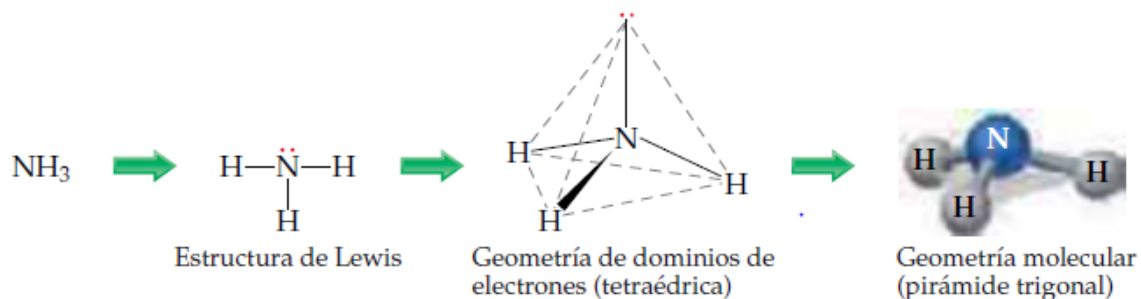
La molécula de  $\text{NH}_3$  tiene cuatro dominios de electrones alrededor del átomo de N. Las repulsiones entre los cuatro dominios electrónicos se reducen al mínimo cuando los dominios apuntan hacia los vértices de un tetraedro. Sin embargo, uno de esos dominios se debe a un par no enlazante de electrones. *La forma molecular describe la disposición de los átomos, no la de los dominios de electrones.* Por tanto, la estructura molecular del  $\text{NH}_3$  es **pirámide trigonal**. No obstante, es el acomodo tetraédrico de los cuatro dominios de electrones lo que nos lleva a predecir la geometría molecular bipirámide trigonal.

La disposición de los dominios de electrones en torno al átomo central de una molécula o ion  $\text{AB}_n$  es su **geometría de dominios de electrones**. La **geometría molecular** es la disposición de los átomos en el espacio. En el modelo TRPECV, predecimos la geometría molecular de una molécula o ion a partir de su geometría de dominios de electrones.


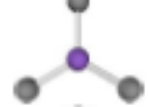
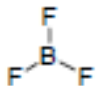
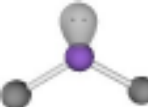
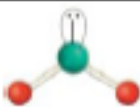
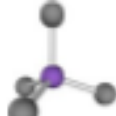
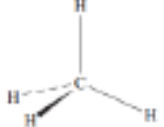
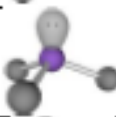

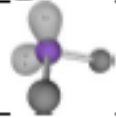

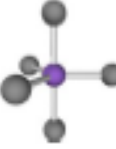

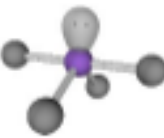

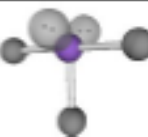
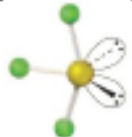
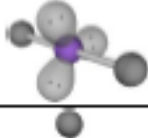
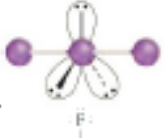
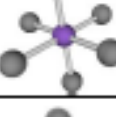





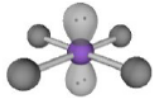
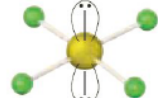
Para predecir la forma de las moléculas con el modelo TRPECV, seguimos estos pasos:

1. Dibujar la *estructura de Lewis* de la molécula o ion y contar el número total de dominios de electrones que rodean al átomo central. Cada par no enlazante de electrones, cada enlace sencillo, cada doble enlace y cada triple enlace cuenta como *un dominio* de electrones.
2. Determinar la *geometría de dominios de electrones* acomodando el número total de dominios de modo tal que las repulsiones entre ellos sean mínimas, como semuestra en la tabla siguiente.
3. Con base en el acomodo de los átomos enlazados, determinar la *geometría molecular*. La siguiente figura muestra cómo se aplican estos pasos para predecir la geometría de la molécula de NH<sub>3</sub>. Puesto que la estructura trigonal piramidal se basa en un tetraedro, los *ángulos de enlace ideales* son de 109.5°. Como veremos en breve, los ángulos de enlace se desvían respecto a los ángulos ideales cuando los átomos y dominios de electrones circundantes no son idénticos.



**Tabla 14.** Lista de geometrías moleculares según el modelo de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia. Tomado de Perez (2014, p.12).

Pares de electrones			Distribución de los pares	Geometría molecular		Ejemplo	
DE	E	PS					
2	2	0	Lineal	Lineal AB <sub>2</sub>		BeF <sub>2</sub>	F – Be – F
3	3	0	Trigonal plana	Trigonal plana AB <sub>3</sub>		BF <sub>3</sub>	
	2	1		Angular AB <sub>2</sub> E		SO <sub>2</sub>	
4	4	0	Tetraédrica	Tetraédrica AB <sub>4</sub>		CH <sub>4</sub>	
	3	1		Trigonal piramidal AB <sub>3</sub> E		NH <sub>3</sub>	
	2	2		Angular AB <sub>2</sub> E <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> O	
5	5	0	Bipirámide trigonal	Bipirámide trigonal AB <sub>5</sub>		PCl <sub>5</sub>	
	4	1		Tetraédrica distorsionada o "sube y baja" AB <sub>4</sub> E		SF <sub>4</sub>	
	3	2		Forma de T AB <sub>3</sub> E <sub>2</sub>		ClF <sub>3</sub>	
	2	3		Lineal AB <sub>2</sub> E <sub>3</sub>		I <sub>3</sub>	
6	6	0	Octaédrica	Octaédrica AB <sub>6</sub>		SF <sub>6</sub>	
	5	1		Pirámide cuadrada AB <sub>5</sub> E		BrF <sub>5</sub>	

Pares de electrones			Distribución de los pares	Geometría molecular		Ejemplo	
DE	E	PS					
	4	2		Plana cuadrada $AB_4E_2$		$XeF_4$	

DE: número de dominio de electrones. E: número de enlaces alrededor del átomo central. PS: pares solitarios o pares de electrones libres

2. De acuerdo con el texto anterior responda las siguientes preguntas:

¿Por qué razón se hace importante conocer y estudiar la geometría de las moléculas?

---



---



---



---



---

¿Cuál es la base del modelo de repulsión de los electrones de la capa de valencia RPECV?

---



---



---



---



---

¿A qué hace referencia la lectura cuando habla de pares enlazantes y pares no enlazantes o solitarios?

---



---



---



---



---

3. Realiza el experimento de unir globo por globo (bombas) hasta completar seis, registra los ángulos y la geometría obtenida en cada etapa.



### **5.2.5 Uso del PhET construye una molécula y contraste entre los modelos realizados y el modelo aceptado por la comunidad científica.**

Objetivos:

-Emplear herramientas tecnológicas como simuladores (Phet), para observar y modelar las diferentes geometrías moleculares, la disposición tridimensional y afianzar los conceptos aprendidos.

-Predecir y contrastar la determinación de las geometrías moleculares entre el proceso teórico y el realizado por el simulador.

-Comparar, describir y analizar los modelos iniciales en contraste con el modelo aceptado actualmente con la comunidad científica.

Obstáculos a superar o aprendizajes esperados:

- Asociar diferentes modelos tridimensionales computacionales en la explicación, modelación y predicción de la geometría en las moléculas.

-No se diferencian e integrar los niveles representacionales macroscópico, simbólico y submicroscópico para explicar el concepto geometría molecular.

***Actividades:***

1. Experimenta, descubre e interactúa con el simulador virtual y sigue las instrucciones para realizar las actividades.
  - a) Descarga la aplicación desde <https://phet.colorado.edu/es/simulation/molecule-shapes>, genera acceso directo en el escritorio e ingresa.

The screenshot shows the PhET website interface. At the top, there is a dark blue header with the PhET logo (Interactive Simulations) on the left, a search bar in the center, and the University of Colorado Boulder logo on the right. Below the header, the page is divided into several sections:

- Simulaciones:** A sidebar menu with categories like 'Nuevas Simulaciones', 'Física', 'Biología', 'Química', 'Química General', 'Ciencias de la Tierra', 'Matemáticas', 'Por Grado Escolar', 'Bachillerato', 'Universidad', 'Por Dispositivo', 'iPad/Tablet', 'Chromebook', 'Todas las Simulaciones', 'Simulaciones Traducidas', 'Material para Profesores', and 'Investigaciones'.
- Forma de la Molécula:** The main content area features a central simulation window showing a 3D molecular model. To the right of the window is a list of topics: 'Moléculas', 'Repulsión de la Capa de valencia de pares de electrones', and 'Pares Solitarios'. Below this list are social media icons for Facebook, Twitter, and Pinterest, a 'DONAR' button, and a green box with the text '¿Y tú? (apoya a PhET hoy y ayuda a la educación mundial)'. At the bottom of the main area are buttons for 'DESCARGAR' and 'INSERTAR'.
- Información:** A vertical list of links on the right side: 'INFORMACIÓN', 'PARA PROFESORES', 'TRADUCCIONES', 'SIMULACIONES RELACIONADAS', 'REQUISITOS DEL SOFTWARE', and 'CRÉDITOS'.

*Figura 36. Página web de simulaciones interactivas PhET, Universidad de Colorado.*

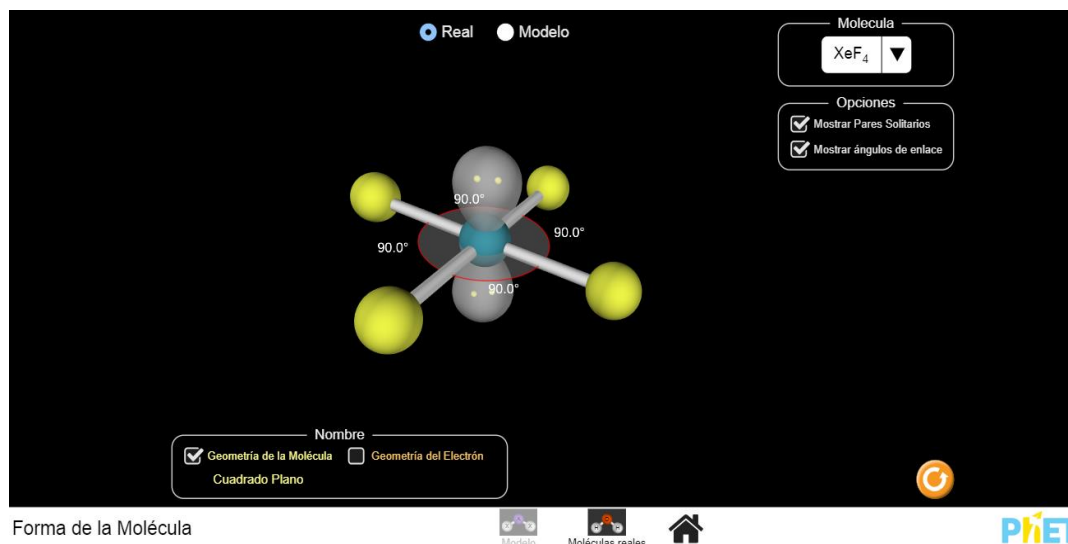
- b) Ingresa en el recuadro Real Molecules (moléculas reales), haciendo doble clic en el recuadro.

The screenshot shows the 'Forma de la Molécula' simulation interface. The title 'Forma de la Molécula' is displayed at the top in large white text. Below the title, there are two molecular models:

- Modelo:** A 3D ball-and-stick model of a molecule with a central purple atom labeled 'A' and two grey atoms labeled 'X' on either side. Below it is the label 'Modelo'.
- Moléculas reales:** A 3D ball-and-stick model of a water molecule (H<sub>2</sub>O) with a central orange atom labeled 'O' and two white atoms labeled 'H' on either side. This model is enclosed in a yellow rectangular border, and below it is the label 'Moléculas reales' in yellow text.

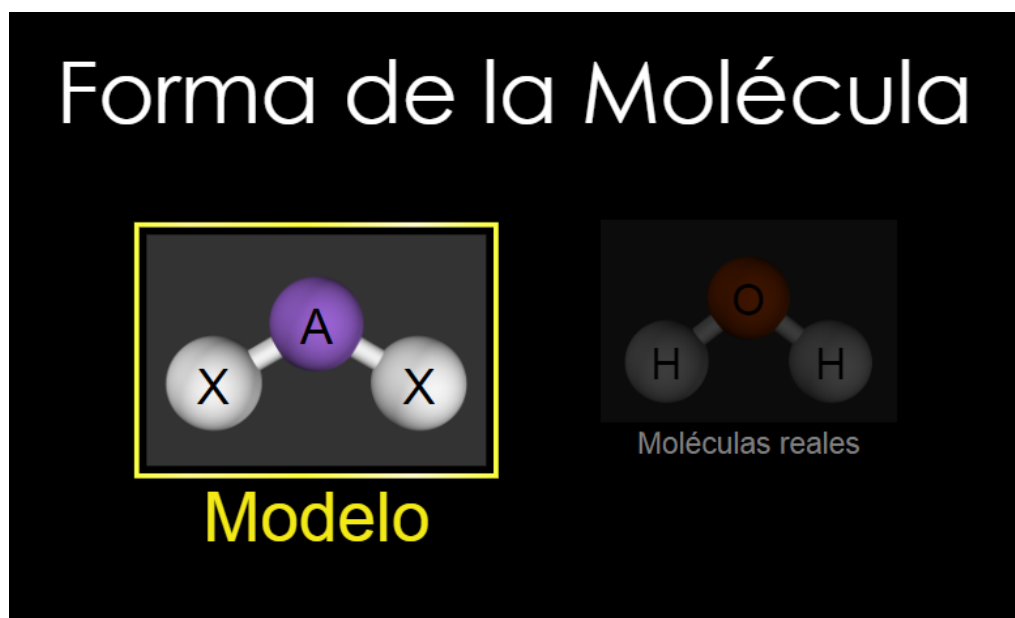
*Figura 37. Ventana inicial PhET forma de una molécula (Moléculas reales).*

- c) Ahora puedes observar diferentes moléculas con su geometría molecular, experimenta la lista, elige otras moléculas, gíralas y observa desde diferentes perspectivas, usa la opción mostrar pares libres o solitarios, también muestra los ángulos que hay entre cada átomo presente.



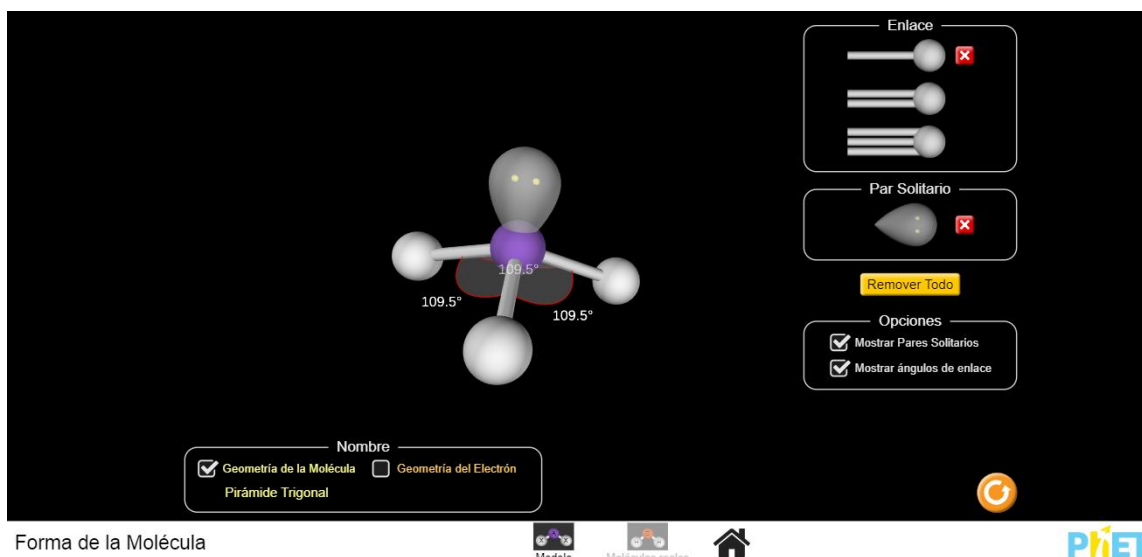
*Figura 38. Ventana PhET , moléculas reales.*

- d) Cierra el programa e ingresa nuevamente. Da clic en el recuadro Model (Modelar).



*Figura 39. Ventana inicial PhET forma de una molécula (Moléculas reales).*

- e) Comienza a modelar moléculas hipotéticas, agrega átomos, juega con los enlaces simples, dobles y triples. Agrega pares libres y analiza el tipo de geometría que arrojan estas combinaciones. Observa con los pares libres, los ángulos entre los átomos, también hazlo sin ellos.



*Figura 40. Ventana PhET, construye modelos.*

- f) Utiliza el PhET para modelar y analizar las moléculas estudiadas al inicio del presente trabajo. Revisa su forma real (cuál es el nombre correcto), cuales son los ángulos entre los átomos? existen pares solitarios?, cuántos son los pares de enlace?
2. ANALIZA: De acuerdo con los conceptos estudiados sobre el Modelo de repulsión de los pares de electrones de valencia, compara y completa la tabla 16. En las notas escribe las semejanzas, tus aciertos y cercanías con el modelo aceptado actualmente por la comunidad científica.



**Tabla 16.** *Contrastación y comentarios entre modelos realizados antes y después de estudiar la TRPECV.*

DIBUJO (MODELO REALIZADO)	MODELO VSEPR
<b>NOTA:</b>	
<b>NOTA:</b>	
<b>NOTA:</b>	
<b>NOTA:</b>	

### 5.2.6 Aplicación y evaluación

La evaluación se considera un proceso continuo y permanente, por lo cual en el presente trabajo se realiza a través de las actividades propuestas en cada uno de los momentos de la secuencia didáctica, además de la autorregulación del conocimiento construido a partir de las preguntas y los ejercicios realizados de forma individual y grupal.

Muñoz (citada por Ordoñez, 2016) menciona:

“En la evaluación se pretende que los estudiantes diferencien entre los modelos materiales didácticos, contruidos por ellos, de los científicos (secuencias de la unidad didáctica), que generalmente explican más fenómenos. Lo anterior no quiere decir que los modelos materiales estén mal, o que sean falsos, simplemente su capacidad de explicación es reducida cuando se los compara con aquéllos contruidos por los expertos a lo largo de muchos años de trabajo e investigación”.

De otro lado se presenta una evaluación escrita donde se pretende valorar los aprendizajes obtenidos sobre la geometría molecular y el modelo de repulsión de los pares de electrones de valencia.

Objetivos:

- Aplicar los conocimientos contruidos a partir de la estrategia didáctica, en la construcción, descripción y explicación de modelos materiales sobre moléculas específicas.
- Valorar los conceptos aprendidos sobre la geometría molecular a partir de un taller evaluativo.

Obstáculos a superar o aprendizajes esperados:

- Definir la geometría molecular a partir del modelo de repulsión de los pares de electrones de valencia.
- Determinar la geometría molecular de un compuesto hipotético de acuerdo con sus características e instrucciones dadas.
- Establecer semejanzas entre diferentes moléculas a partir de su geometría molecular.

### *Actividades*

1. **APLICA:** De acuerdo con el modelo TRPECV, realiza el siguiente trabajo de manera individual.

El docente entrega al azar una molécula diferente a cada uno de los estudiantes para la realización de las actividades a continuación.

- a) Realiza la estructura de Lewis de tu molécula.
- b) Representa tu compuesto en dos dimensiones (2D) a través de un dibujo.
- c) Representa tu modelo en tres dimensiones, utiliza los materiales suficientes (palos, palillos, bolas de icopor, plastilina, porcelanicron, pinturas, transportador) para representar enlaces, distancias, electrones solitarios. (Utiliza el PhET para verificar la geometría molecular)
- d) Consulta y presenta ante tus compañeros tu modelo molecular, especificando sus características físicas y químicas, cómo se encuentra en la naturaleza y para qué se utiliza en la industria.

### **2. EVALUACIÓN: MODELOS Y MODELAJE EN LA GEOMETRÍA MOLECULAR**

**Nombre:** \_\_\_\_\_

- a) **Con los criterios de la VSEPR dibuja e indica la geometría molecular de las moléculas en la tabla 17.**

*Tabla 17. Ejercicio evaluativo sobre la TRPECV*

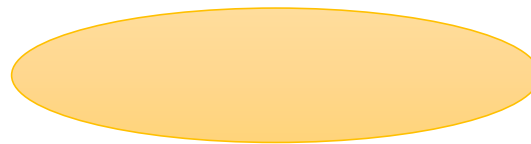
MOLÉCULA	MODELO	GEOMETRÍA MOLECULAR
<b>GaI<sub>3</sub></b>		
<b>SbCl<sub>5</sub></b>		
<b>TeCl<sub>6</sub></b>		
<b>H<sub>2</sub>S</b>		
<b>NH<sub>3</sub></b>		
<b>ICl<sub>4</sub><sup>-</sup></b>		
<b>I<sub>3</sub><sup>-</sup></b>		
<b>CF<sub>4</sub></b>		
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>		
<b>IF<sub>5</sub></b>		
<b>SiF<sub>4</sub></b>		
<b>PF<sub>6</sub><sup>-</sup></b>		
<b>BF<sub>4</sub><sup>-</sup></b>		

**B. Escribe la geometría molecular que esperarías obtener si en la capa de valencia del átomo central se encuentran:**

Dos pares enlazantes y un par solitario	Cuatro pares enlazantes y un par libre
---	--



Cuatro pares enlazantes y dos pares libres	Dos pares enlazantes y dos pares libres
--	---



- c. Utilizando la teoría TRPECV, determina la estructura de las siguientes moléculas:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$  Y  $\text{NO}_2^-$  en la tabla 18, compara los valores de los ángulos de enlace y discute la tendencia observada.

**Tabla 18.** Ejercicio evaluativo sobre la VSEPR y los ángulos de enlace.

$\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_3$	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_2^-$

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

- La revisión histórica y epistemológica del concepto geometría molecular se constituye como una valiosa herramienta en el aula y la base esencial para la construcción de un instrumento de exploración de ideas previas, cuyo propósito es identificar las ideas alternativas y los obstáculos epistemológicos que presentan los estudiantes sobre dicho concepto.
  
- Los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento de exploración de ideas previas permitieron definir las ideas alternativas y los obstáculos epistemológicos de los estudiantes, entre los cuales prevalecieron los siguientes: mayor apropiación del nivel representacional macroscópico en relación con el simbólico y el submicroscópico, errores conceptuales en la percepción del enlace químico, los niveles energéticos, electrones de valencia, ley del octeto y sus excepciones. Además, se logró evidenciar desconocimiento de conceptos como pares de electrones de enlace y libres, repulsión y disposición espacial.
  
- Utilizar la propuesta de Chamizo y García (2010) sobre el diseño de secuencias didácticas basadas en los modelos y el modelaje científico y considerando también las etapas y sub etapas en el modelaje según Justi (2006), permitió la construcción de la estrategia metodológica para la enseñanza del concepto geometría molecular, teniendo como fundamento las ideas previas y los obstáculos epistemológicos hallados en los estudiantes. Al mismo tiempo, los resultados obtenidos luego de la aplicación de la secuencia, evidencian el logro de aprendizajes profundos sobre el concepto y la pertinencia de las actividades planteadas, con un aumento mayor al 70% de respuestas correctas en las preguntas de selección múltiple y el uso integrado de los tres niveles representacionales macroscópico, simbólico y submicroscópico.

- El uso de estrategias didácticas basadas en los modelos y el modelaje científico, se constituyen como una propuesta efectiva para la construcción del conocimiento en las Ciencias Naturales y en especial en la química, puesto que los estudiantes reproducen el trabajo realizado por los científicos, a partir de predicciones, observaciones, hipótesis, explicaciones, discusiones académicas y argumentos, de la lúdica, el dibujo, la creación de modelos materiales en dos y tres dimensiones y la interacción con objetos virtuales de aprendizaje (PhET), desarrollando así, competencias y habilidades del pensamiento materializadas en la construcción de aprendizajes profundos sobre los diferentes conceptos.
- Finalmente, el diseño y aplicación de secuencias didácticas innovadoras y atractivas para los estudiantes, contextualizadas a las necesidades y dinámicas actuales en la nueva era digital, se consolidan como herramientas eficaces en la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos en las ciencias naturales, a partir del desarrollo de habilidades y competencias para alcanzar aprendizajes profundos.

## **6.2 Recomendaciones**

- En la enseñanza de las Ciencias Naturales y en especial la química, se invita al reconocimiento del contexto educativo, así como la identificación de ideas previas y obstáculos epistemológicos del concepto a enseñar, partiendo de la premisa de que los estudiantes poseen conocimientos desde la interacción social, las experiencias cotidianas y los medios de comunicación. Reconocer estas realidades permite al profesor plantear de forma coherente las estrategias metodológicas y recursos a utilizar para potenciar algunas ideas, superar los obstáculos y construir verdaderos conocimientos profundos.

- Teniendo en cuenta que la química es una ciencia con gran nivel de abstracción, se recomienda el desarrollo de habilidades de los estudiantes sobre los niveles de representación macroscópico, simbólico y submicroscópico, de tal manera que sean integrados para entender el lenguaje a veces confuso y complejo de la química, y alcanzar así una mayor comprensión y aprendizaje de las temáticas.
  
- Los modelos y el modelaje científico se configuran como una estrategia innovadora y eficaz en la enseñanza de la química. Por lo tanto, sería importante la formación autónoma del profesorado en la enseñanza y el diseño de metodologías a partir de esta propuesta y su posterior aplicación en el aula para alcanzar resultados efectivos a partir de los aprendizajes profundos alcanzados.
  
- Incluir el uso de las TIC como recurso indispensable en la enseñanza de las ciencias, permite un acercamiento a los intereses de los estudiantes y el alcance de la motivación, a partir de clases innovadoras y creativas acordes con la era digital en la que interactúan y se desarrollan actualmente.



## Anexo A: Exploración de ideas previas y obstáculos epistemológicos del concepto Geometría Molecular.



*Instituto para la Ciencia*

Calle 22 No. 21 - 16 - Tel. 8801930 Manizales - Colombia

Aprobación de estudios mediante Resolución número 1188 de noviembre 28 de 2005

Nombre: \_\_\_\_\_

**Apreciado estudiante:** en el siguiente cuestionario encontrarás una serie de preguntas, cuyo propósito es saber qué ideas tienes sobre el concepto de geometría molecular, para ello es necesario que respondas en forma individual y con total sinceridad. Debes elegir una respuesta única para las preguntas de selección múltiple y seguir las instrucciones para aquellas abiertas, donde debes sustentar tu producción.

**1. Cuando se habla de los electrones de valencia de determinado átomo, se hace referencia a:**

- a. Son los electrones en el nivel más externo de un átomo (En el nivel con mayor valor de  $n$ ) y son los que participan en el enlace químico.
- b. Son los electrones que se encuentran ubicados en el núcleo del átomo junto con los protones y participan del enlace químico.
- c. Son los electrones más internos en el átomo.
- d. Son los electrones en el nivel más externo de un átomo (En el nivel con mayor valor de  $n$ ) y NO participan en el enlace químico.

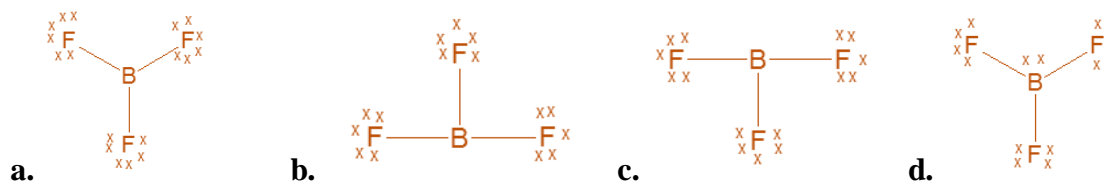


**2. En el enlace covalente los átomos involucrados generan una interacción donde:**

- Un átomo cede electrones obteniendo carga positiva y otro recibe los electrones ganando carga negativa.
- Los átomos poseen gran diferencia de electronegatividad por lo cual comparten los electrones.
- Los átomos poseen una pequeña diferencia de electronegatividad, es decir, se atraen con una fuerza similar, por lo cual comparten los electrones para alcanzar la estabilidad.
- Un átomo cede electrones generando un anión y otro recibe los electrones generando un catión.



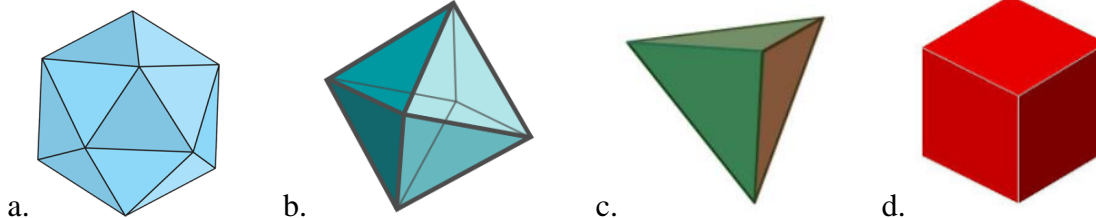
**3. La imagen que mejor representa la estructura de Lewis para el BF<sub>3</sub> (trifluoruro de boro) es:**



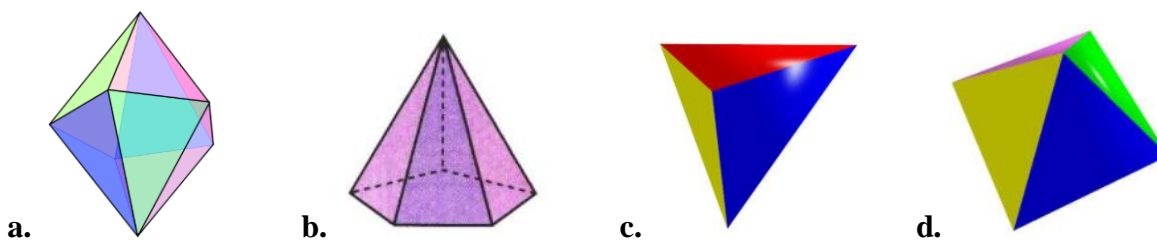
**4. La imagen que mejor representa la estructura de Lewis para el HCN (ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno) es:**



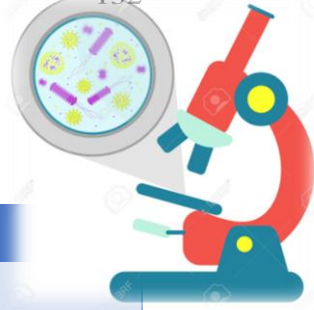
5. La figura que mejor representa un octaedro es:



6. La figura que mejor representa una pirámide de base cuadrada es:



7. Todos los objetos tangibles que conocemos tienen una forma, algunas de ellas son regulares y otras irregulares. Imagine que posee un microscopio con la capacidad para observar los átomos y moléculas de cualquier sustancia. De acuerdo con lo anterior elabora un modelo (dibujo o esquema) que represente a nivel macro y micro:



a. El líquido conocido como el Agua ( $H_2O$ )

Vista Macroscópica	Vista Microscópica

Explique las razones por las cuales representaste así tu modelo y el proceso seguido para llegar al mismo.

---

---

---

---

---

b. Uno de los gases causantes de la contaminación, el dióxido de carbono ( $CO_2$ )



Vista Macroscópica	Vista Microscópica

Explique las razones por las cuales representaste así tu modelo y el proceso seguido para llegar al mismo.

---



---



---



---



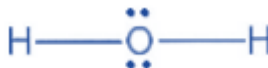
---



8. La geometría de una molécula que no tiene enlaces múltiples, y tiene un átomo central con cinco pares de electrones enlazantes es:

- Tetraédrica
- Bipirámide trigonal
- Octaédrica
- Trigonal Plana

9. Un estudiante escribió la siguiente representación para la geometría molecular del agua:



La representación anterior es errada puesto que:

- Los átomos de hidrógeno carecen de electrones libres.
- Los electrones libres en el oxígeno generan repulsión y no puede ser lineal.
- Los átomos de hidrógeno están ubicados en sentido opuesto.
- La distribución electrónica del oxígeno no cumple con la regla del octeto.



10. La geometría de la molécula de formaldehído ( $\text{H}_2\text{CO}$ ) es:

- a. Triangular plana
- b. Angular
- c. Piramidal triangular
- d. Tetraédrica

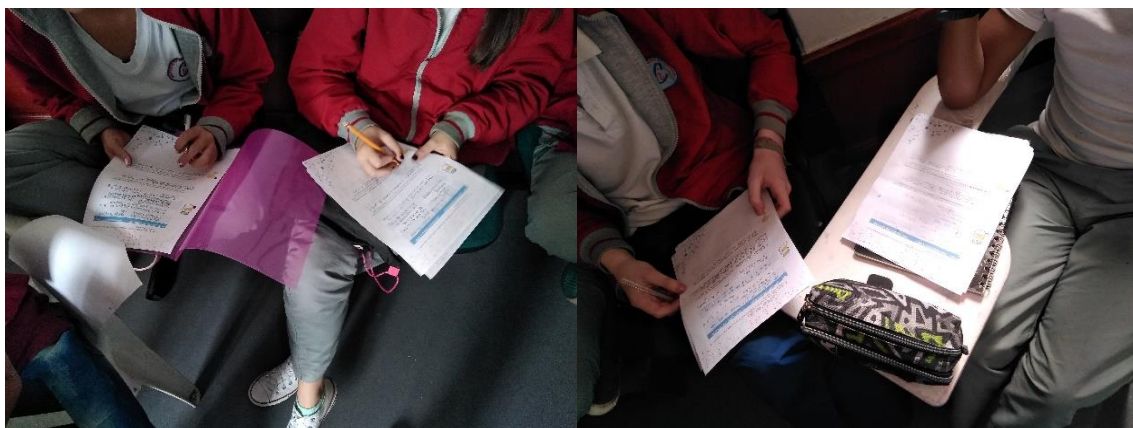


11. La geometría de una molécula que no tiene enlaces múltiples, y que tiene un átomo central con dos pares de electrones enlazantes y un par solitario es:

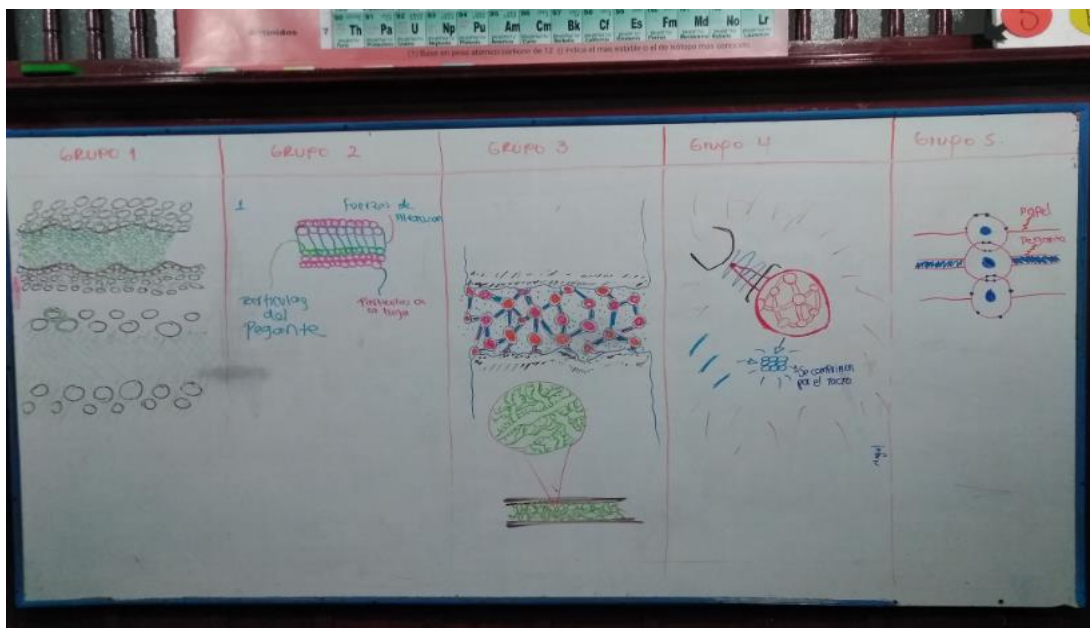
- a. Angular
- b. Piramidal triangular
- c. Triangular plana
- d. Tetraédrica

## Anexo B: Fotografías

*Figura 41. Estudiantes realizando actividad de introducción a modelos y modelaje científico.*



*Figura 42. Modelos propuestos por los estudiantes para explicar la acción del pegamento.*

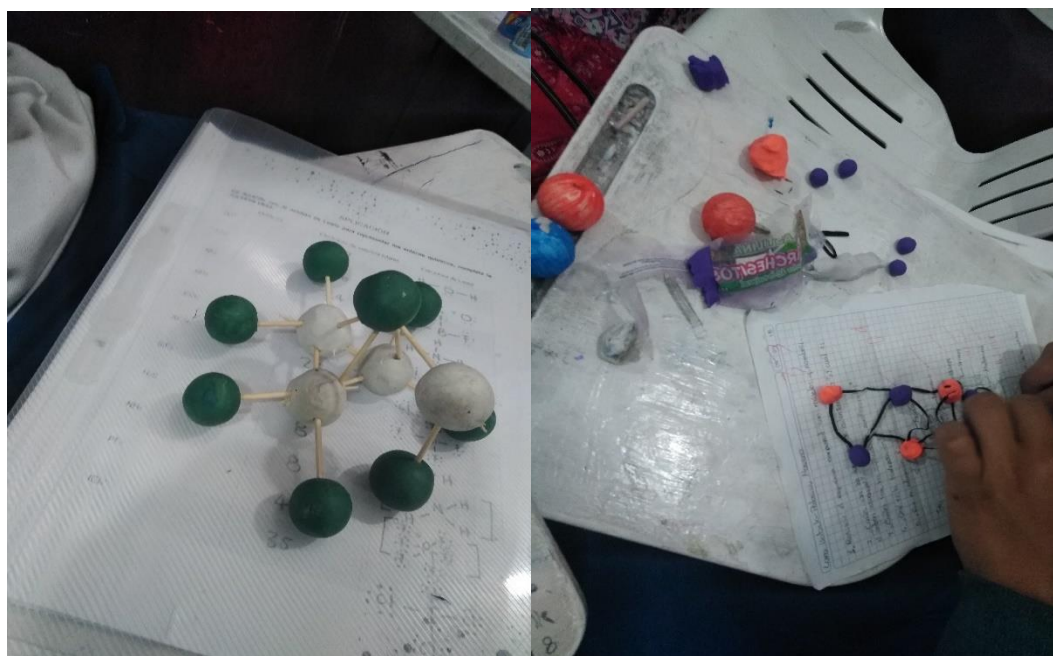




**Figura 43.** *Estudiantes realizando actividad sobre modelos moleculares.*

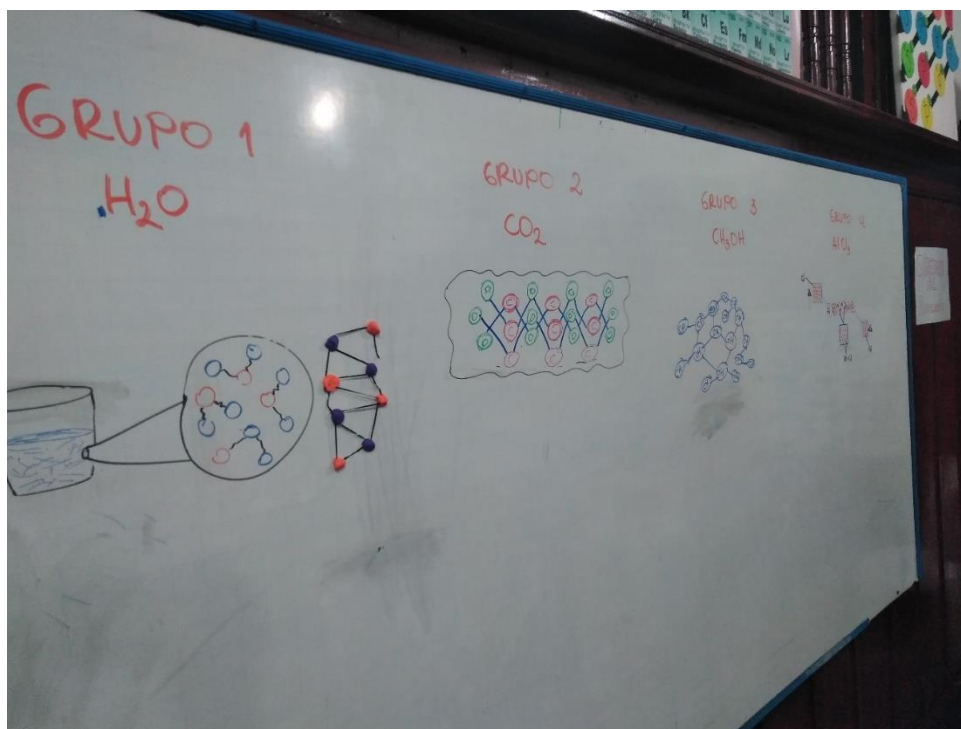


**Figura 44.** *Estudiantes realizando actividad sobre modelos moleculares.*





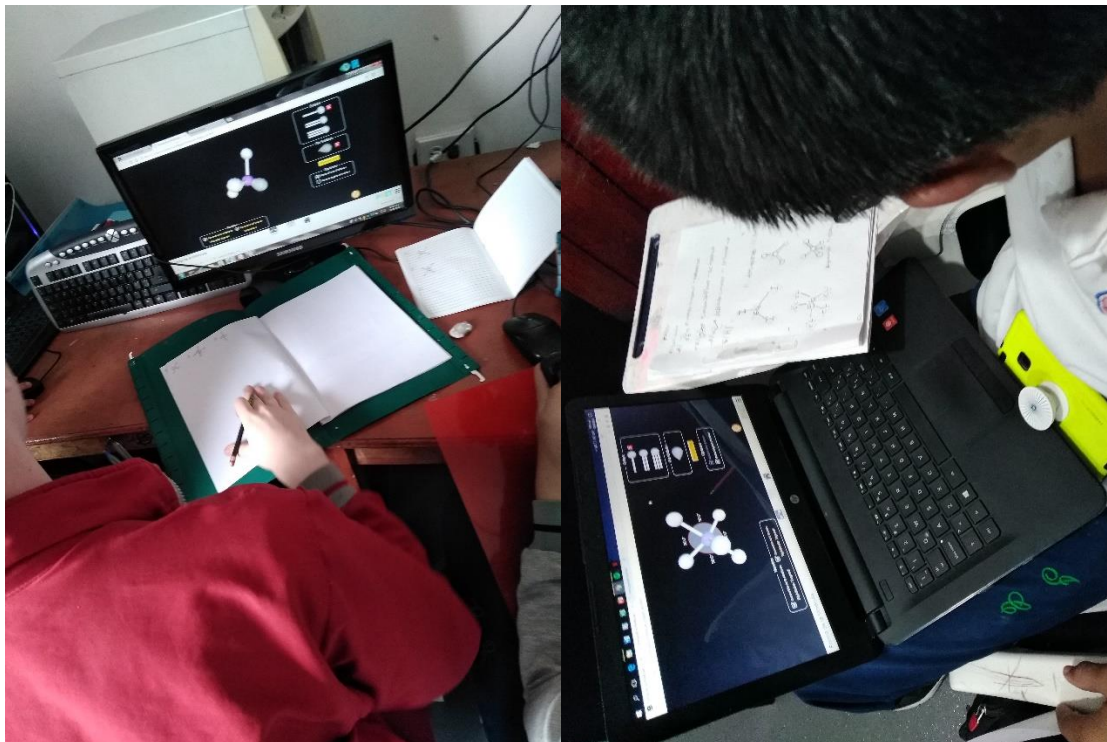
*Figura 45. Estudiantes realizando actividad sobre modelos moleculares.*



*Figura 46. Estudiantes realizando actividad sobre modelo TRPECV*



*Figura 47. Estudiantes realizando actividad sobre modelación en el PhET “Forma de una molécula”*



*Figura 48. Estudiantes observando sustancias a modelar.*



## Bibliografía

- Asimov, I. (1975) *A Short History of Chemtstry - An Introduction to the Ideas and Concepts of Chemistry*. Doubleday&Co., Inc., Nueva York.
- Astolfi, J. (1994) *El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos*. Enseñanza de las Ciencias, 12 (2), p. 206-216.
- Bachelard, G. (1987) *La formación del espíritu científico*. México: Editorial Siglo XXI.
- Beas, J., Santa, J., Thomsen, P. & Utreras, S. (2000). *Enseñar a pensar para aprender mejor*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica.
- Bello, S. (2013). *El enlace químico. Uno de los grandes logros del intelecto humano*. Recuperado de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/belloenlacequimico2013\\_21520.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/belloenlacequimico2013_21520.pdf)
- Bello, S. (2004). *Ideas previas y cambio conceptual*. Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, UNAM. 04510 México, DF.
- Boo, H. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(5), p. 569-581.
- Brown, T. L. (2003). *Química la ciencia central*. México: Pearson Education.
- Camacho, J. (2008). *La enseñanza de la química desde el modelo integrado de aprendizaje profundo*, MIAP. Fortalezas y debilidades. TEA. pp. 115-125
- Chang, R. (2002). *Química*. México D.F., México: Mc Graw – Hill

- Chamizo, J., & García, A. (2010). *Modelos y Modelaje en la enseñanza de las Ciencias Naturales*. Universidad Autónoma de México, Mexico D.F., México.
- Chamizo, J. (2010). *Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias*. Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien., 7(1), pp. 26-41
- De la Mata, C., Álvarez., Engracia, J & A. (2011). *Ideas alternativas en las reacciones químicas*. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. Revista Didácticas Específicas N° 5. ISSN 1989-5240
- DeLotell, P., Millam, L. & Reinhardt, M. M. (2010). *The Use Of Deep learning strategies in online business courses to impact student retention*. American Journal of Business Education - December Volume 3, Number 12 .pp 49-56.
- De posada, M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las ciencias*, 17 (2), 227-245.
- Dumon, A. & Merlin, A. (1988). *Dificulties with molecular orbitals*. Education in Chemistry, 25 (2), pp. 49-52.
- Fasce, E. (2007). *Aprendizaje profundo y superficial*. Rev. Educación, ciencia y salud; 4 (1): 7-8.
- Galagovsky, L., Rodriguez, M. & Stamatí, N. (2003). *Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de Ciencias Naturales. Un ejemplo para el aprendizaje de concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla*. Enseñanza de las Ciencias, 2003, 21 (1), 107-121. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Unversitaria. Buenos Aires, Argentina.

- Galiano, J. (2004). *Estrategias de enseñanza de la química en la formación inicial del profesorado*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España.
- Garcés, S., Herrera A. & Velázquez, L. (2008). "La búsqueda. Ideas previas en el nivel universitario: evolución y persistencia". En "Hacia un cambio conceptual del enlace químico. Propuesta constructivista para mejorar el aprendizaje en bachillerato y licenciatura". Universidad Nacional Autónoma de México. p. 37- 58.
- Gilbert, J., Boulter, C. & Elmert, R. (2000). *Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education*, en Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (eds.). *Developing Models in Science Education*, pp. 3-17. Dordrecht: Kluwer.
- Gillespie, R. J., & Hargittai, I. (2012). *The VSEPR Model of Molecular Geometry*. Boston, United States: Allyn and Bacon – Dover ed.
- Greca, I., & Moreira, M. (1998). *Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo, enseñanza de las ciencias, 16, 289-303*
- Guerrero, S. (2015). *El papel de las ideas previas en el proceso Enseñanza-Aprendizaje de las ciencias naturales. Estudio de caso: el concepto de energía en niños de 4° del Colegio Santa María de Pance, Cali*. Centro de recursos educativos CREA, universidad Icesi. Santiago de Cali, Colombia.
- Hargittai, I., & Chamberland, B. (1986) *The VSEPR model of molecular geometry*. Department of Chemistry and Institute of Materials Science, University of Connecticut, Storrs, CT 06268, U.S.A.
- Izquierdo, A. (2004). *Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: Contextualizar y modelizar*. The Journal of the Argentine Chemical Society - Vol. 92 - Nº 4/6, 115-136. La Plata, Argentina.



- Justi, R. (2006). *La enseñanza de las Ciencias basada en la elaboración de Modelos*. Universidad Federal de Minas Gerais Belo Horizonte. Brasil.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2003) *Models and Modelling in Chemical Education*. en Gilbert, J.K., Jong, O.D., Justi, R., Treagust, D.F. y V. Driel, J.H. (eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, pp. 47-68. Dordrecht: Kluwer academic Publisher. Netherlands.
- Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. México D.F., México: Aula XXI. Ed. Santillana.
- Marzábal, A., Merino, C. & Rocha, A. (2013). *El obstáculo epistemológico como objeto de reflexión para la activación del cambio didáctico en docentes de ciencias en ejercicio*. Revista electrónica de investigación en educación en Ciencias. REIEC Volumen 9 Nro 1 Mes Julio ISSN 1850-6666
- McMurry, J. (1994). *Química orgánica*. Grupo Editorial Iberoamérica S.A de C.V., México, pp. 505-507.
- Miño, L., Abril, D. & Rodríguez, M. (2013). *Ideas previas sobre la química en alumnos que ingresan a la carrera de pedagogía en ciencias de la Universidad Católica del Maule*. IX congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias (2013): 2335-2341
- Morrison, M. y Morgan, M. (1999). *Models as mediating instruments*, en Morgan, M.S. y Morrison, M. (eds.). *Models as mediators*, pp. 10-37. Cambridge: cambridge University Press
- Muñoz, M. (2010). *Conociendo los modelos materiales sobre enlace químico a través de una Unidad didáctica basada en la enseñanza de los modelos y el modelaje*

*científico, para nivel medio superior.* Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.

- Muñoz, C. (2005). *Ideas previas en el proceso de aprendizaje de la historia. Caso: estudiantes de primero de secundaria.* Universidad de Concepción. Chile. GEOENSEÑANZA. Vol.10-2005 (2). Julio - diciembre. p.209-218. ISSN 1316-60-77
- Ordoñez, C. (2016). *Unidad didáctica para la enseñanza y el aprendizaje del concepto Enlace Químico.* Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Ortega, C. & Hernandez, A. (2015). *Hacia el aprendizaje profundo en la reflexión de la práctica docente.* Universidad Autónoma indígena de México. El Fuerte, México.
- Perez, J. (2014). *Propuesta didáctica para la enseñanza de las interacciones moleculares en la educación media.* Universidad Nacional de Colombia. Medellin, Colombia.
- Peterson, R. & Treagust, D. (1989). *Grade-12 student's misconceptions of covalent bonding and structure.* Journal of Chemical Education, 66(6), pp. 459-460.
- Raviolo, A. (2009). *Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química.* Rev. Educación Química. Facultad de Química UNAM, 20(1), pp. 55-90.
- Romero, C. (2004). *Obstáculos epistemológicos en la transposición didáctica de los textos escolares.* Colegio José Abelardo Nuñez, El Bosque, Las Águilas # 0589, Puente Alto. Recuperado de: [http://inveduc.ulagos.cl/index.php/todas-las-actas/Actas/Actas-2017/086\\_Romero.pdf/download](http://inveduc.ulagos.cl/index.php/todas-las-actas/Actas/Actas-2017/086_Romero.pdf/download). 05/02/2018.

- Santos, W & Mol, G. (2005). *Química & Sociedade: ensino médio*. v. único. São Paulo: Nova Geração.
- Sidgwick, N. & Powell, H. (1940). *Backerian Lecture. Stereochemical types and valency groups*. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences *Vol. 176, No. 965 (Oct. 9, 1940), pp. 153-180*.
- Taber, K. (1999). *Alternative frameworks in Chemistry*. Education in Chemistry , 36(5), p. 135-137.
- Torres, M (2015). *La indagación científica una competencia para la enseñanza y el aprendizaje del concepto herencia biológica*. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Treagust, D.; Chittleborough, G & Mamiala, T. (2004) *Comprension de los estudiantes a cerca de la naturaleza descriptiva y predictiva de los modelos escolares en química orgánica*. Curtin University of Technology. Australia.
- Valenzuela, J. (2007). *Habilidades de pensamiento y aprendizaje profundo*. Revista *Iberoamericana de Educación*. ISSN 16815653. Organización de Estados Iberoamericanos en educación, la ciencia y la cultura (OEI) Chile, Pp. 1-9.



## Cibergrafia

- Pruebas ICFES, 2006. <https://caginufra.files.wordpress.com/2010/10/evalu-prueba-icfes-enlaces.pdf>
- <https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/chemistry>
- [https://www.google.com.co/search?q=molecular+geometry+balloon&rlz=1C1AVNA\\_enCO715CO715&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi8uaywgrvZA\\_hWN01kKHWOoCdYQ\\_AUICigB&biw=1366&bih=637#imgrc=7QX2Py4K2zXvBM:](https://www.google.com.co/search?q=molecular+geometry+balloon&rlz=1C1AVNA_enCO715CO715&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi8uaywgrvZA_hWN01kKHWOoCdYQ_AUICigB&biw=1366&bih=637#imgrc=7QX2Py4K2zXvBM:)
- [https://books.google.com.co/books?id=Y8059vAIRpsC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=Y8059vAIRpsC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- [https://www.google.com.co/search?q=fondos+mol%C3%A9culas+quimicas&tbm=isch&tbs=rimg:CZXjeKjOBuC\\_1IjgGaH-6M6JjSCiX](https://www.google.com.co/search?q=fondos+mol%C3%A9culas+quimicas&tbm=isch&tbs=rimg:CZXjeKjOBuC_1IjgGaH-6M6JjSCiX)
- [https://www.google.com.co/search?q=fondos+mol%C3%A9culas+quimicas&tbm=isch&tbs=rimg:CZXjeKjOBuC\\_1IjgGaH-6M6JjSCiX-:](https://www.google.com.co/search?q=fondos+mol%C3%A9culas+quimicas&tbm=isch&tbs=rimg:CZXjeKjOBuC_1IjgGaH-6M6JjSCiX-:)
- <https://pt.dreamstime.com/ilustra%C3%A7%C3%A3o-stock-adn-da-estrutura-da-mol%C3%A9cula-e-fundo-de-uma-comunica%C3%A7%C3%A3o-linhas-conectadas-com-pontos-conceito-da-ci%C3%A4ncia-conex%C3%A3o-image65612639>
- <https://www.google.com.co/search?q=material+de+laboratorio+caricatura&tbm=isch&tbs=rimg:CVbTrEEeXL0NTIjhdoahWqsUAqx8YY1aJE0SsWJ9HixZPRvs3fSvZiiciBJaGZG6hWek5ah4OSTnB1TB148dh5BBlxoSCV2hqFaqxQCrERtXDGqNjh8vKhIJHxhjVokTRKwRm2v-LkrkXU8qEglYn0cjFk9G->