

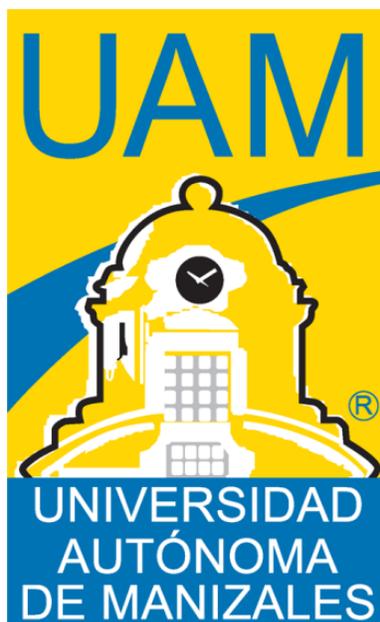


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES**  
Departamento de Educación

**RELACIONES ENTRE LA METACOGNICIÓN Y EL PENSAMIENTO VISO-  
ESPACIAL EN EL APRENDIZAJE DE LA ESTEREOQUÍMICA**

**Valentina Cadavid Alzate**

**Manizales, 6 de diciembre de 2013**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES**  
**Departamento de Educación**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**RELACIONES ENTRE LA METACOGNICIÓN Y EL PENSAMIENTO VISO-  
ESPACIAL EN EL APRENDIZAJE DE LA ESTEREOQUÍMICA**

*Autora*

Valentina Cadavid Alzate

*Director de tesis*

Ph.D. Óscar Eugenio Tamayo Álzate

**Manizales, 6 de diciembre de 2013**

**A mi madre... reside en mí tu ejemplo de vida, tú amor incondicional, aquel que ha trascendido desde el lugar donde nos encontraremos, hasta entonces seguiré creyendo que la grandeza de un ser no se extingue, se transforma, regresa al universo donde comenzó nuestro origen químico.**

A mi padre, por su incondicional apoyo y amor, siempre orgulloso de su hija, gracias por enseñarme el valor de los sacrificios.

A mi hermano, por comprender la grandeza del amor que guía y acompaña nuestro camino, por su apoyo y valioso ejemplo de responsabilidad y honestidad.

Al amigo, al compañero, al que ahora se ha convertido en un eco de montaña.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi profe Oscar, mi padre del estudio a quien le agradezco la humilde, disciplinada, cálida y amable sombra que me cubrió, proveniente del árbol de su experiencia y compromiso. Gracias.

A la vida, a la existencia.....

A mi familia, abuelas, tías, tíos y primas que aunque no entienden muy bien lo que hago, me apoyan y alientan, siempre presentes con sus buenos deseos demostrándome su amor.

A la escalada como la vida siempre con fuerza para vencer los miedos...., a los amigos: Rolis incondicional, chuchini nobleza total, Juli compañera de camino, Vicky, Wili.... y a todas aquellas personas que indirecta o directamente contribuyen a mi formación académica y espiritual.

A Paulita, Siomy y Jenny, siempre con risas comprendiendo la importancia de ayudar, de cooperar, lugar de continuos aprendizajes.

## Tabla de contenido

Introducción.....	10
CAPÍTULO 1 .....	13
Planteamiento del Problema, Justificación y Objetivos.....	13
1.1 Planteamiento del Problema.....	13
1.2 Preguntas de Investigación.....	14
1.3 Justificación .....	15
1.4 Objetivos.....	16
CAPÍTULO 2 .....	17
Marco teórico.....	17
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	17
2.2 Metacognición.....	21
2.2.2 Componentes de la metacognición .....	22
2.2.3 Marcos teóricos que fundamentan la metacognición .....	28
2.2.4. La Metacognición y los modelos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias .....	31
2.2.6 Modelo de Instrucción metacognitivo en la Enseñanza y el Aprendizaje de la Estereoquímica. .....	38
2.3 Inteligencia Espacial .....	41
2.3.1 Antecedentes de la Investigación .....	41
2.3.2 El concepto .....	44
2.3.3 Inteligencia Espacial .....	45
2.3.4 Componentes de la inteligencia espacial .....	46
2.4 Pensamiento o Inteligencia viso-espacial .....	51
2.4.1 ¿Cómo se relaciona el pensamiento viso-espacial en la enseñanza y en el aprendizaje de la química?.....	54
2.4.2 Modelo de pensamiento viso-espacial para la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica. .....	61
CAPÍTULO 3 .....	64
Marco Metodológico.....	64
3.1. Introducción .....	64
3.2. Metodología de la investigación.....	64
3.3. Contexto de la investigación .....	65
3.3.1 Unidad de Trabajo.....	65
3.4. Diseño Metodológico.....	66

3.5 Descripción de las categorías de análisis.....	67
3.6. Instrumentos.....	71
3.6.1. Instrumentos de lápiz y papel.....	71
3.7. Análisis de la información.....	73
3.7.1 El estudio de Caso: un acercamiento al fenómeno estudiado .....	74
CAPÍTULO 4 .....	76
Análisis y Discusiones .....	76
4.1 Introducción.....	76
4.2 Análisis categoría Metacognición .....	76
4.2.1 Conciencia .....	76
4.2.2 Análisis tipos de conocimiento.....	83
4.2.3 Análisis Regulación .....	97
4.3 Análisis pensamiento Viso-Espacial .....	119
4.3.1 Análisis sub-categoría: Traducción y transformación de diferentes representaciones moleculares. ....	120
4.3.2 Análisis sub-categoría: Relaciones espaciales y Visualización .....	127
Análisis de caso Estudiante 4.....	139
Análisis categoría Metacognición .....	139
Análisis sub-categoría: Traducción y transformación de diferentes representaciones moleculares. ....	178
CAPÍTULO 5 .....	198
Conclusiones de la Investigación .....	198
CAPÍTULO 6 .....	200
Recomendaciones .....	200
REFERENCIAS .....	202
ANEXO 1 .....	208
Instrumentos de Lápiz y Papel .....	208
ANEXO 2 .....	237
Entrevista .....	237

## Lista de Tablas

Tabla 1. Sub- categoría <i>Conciencia</i> .	68
Tabla 2 Sub-categoría Conocimiento.	68
Tabla 3. Sub- categoría Regulación.	69
Tabla 4. Sub-categorías de análisis pensamiento viso-espacial.	70
Tabla 5 Sub-categorías de análisis estereoquímica.	71
Tabla 6 Ejercicios propuestos durante el Pre-test y el Post-test.	72
Tabla 7 Instrumentos aplicados durante la Unidad didáctica.	73
Tabla 8 Conciencia objetivo de la tarea y del proceso durante el Pre-test y Post-test.	78
Tabla 9 Valores asignados a los ejercicios del Pre-test Post-test.	80
Tabla 10. Conocimiento respecto a lo que sabe.	85
Tabla 11 Conocimiento sobre lo que no sabe	88
Tabla 12 Declaraciones E.1 durante la entrevista.	90
Tabla 13 Explicaciones respecto al proceso empleado.	93
Tabla 14 Conocimiento procedimental durante el Pre-test y del Post-test	95
Tabla 15 Estructura y características de los planteados del E.1	98
Tabla 16 Resumen de los planes durante el Pre-test – Post-test.	102
Tabla 17 Auto-evaluaciones del E.1 durante la solución de ejercicios	105
Tabla 18 Análisis monitoreo realizado durante el Pre-test - Post-test.	107
Tabla 19 Declaraciones proceso de evaluación	110
Tabla 20 Análisis evaluaciones realizadas durante el Pre-test y el Post-test.	113
Tabla 21 Respuestas E.1 dificultad o habilidad para trabajar con diferentes representaciones..	122
Tabla 22 Resumen declaraciones E.1 habilidad o dificultad de realizar giros de moléculas	129
Tabla 23. Análisis monitoreo (auto-evaluaciones) E.1 Pre-test y Post-test tareas de rotación..	131
Tabla 24 Resumen declaraciones de los estudiante importancia de usar modelos físicos.	135
Tabla 25 Conciencia objetivo de la tarea y del proceso que realiza Pre-test y Post-test	140
Tabla 26 Declaraciones E.4 respecto a la conciencia que demuestra sobre su desempeño	142
Tabla 27 Conocimiento E.4 respecto a lo que sabe.	146
Tabla 28 Conocimiento sobre lo que no sabe.	149
Tabla 29 Declaraciones E.4 durante la entrevista.	151
Tabla 30 Procesos que realiza el E.4 para resolver diferentes ejercicios.	153
Tabla 31 Conocimiento procedimental durante el Pre-test y del Post-test	155
Tabla 32 Estructura y características de los planes E.4	158
Tabla 33 Resumen de los planes durante el Pre-test – Post-test.	160
Tabla 34 Auto-evaluaciones E.4 durante la solución de diferentes ejercicios.	163
Tabla 35 Análisis del monitoreo Pre-test - Post-test.	164
Tabla 36 Declaraciones E.4 proceso de evaluación.	167
Tabla 37 Análisis en torno a las evaluaciones Pre-test y el Post-test	171

Tabla 38 Respuestas E.4 habilidad para traducir y transformar representaciones moleculares.	179
Tabla 39 Resumen declaraciones E.4 habilidad o dificultad de realizar giros de moléculas. ....	185

## Lista de Figuras

Figura 1 Componentes de la metacognición Tamayo (2006) .....	28
Figura 2 Prueba de Purdue Visualización y rotación (PVROT) (ver Bodner & Guay, 1997).....	49
Figura 3 Test de Vandenburg y Kuse (MRT) (ver Vandenburg & Kuse, 1978). .....	49
Figura 4 The Purdue Spatial Visualization Test de Guay (TSVP) (ver Guay, 1977) .....	50
Figura 5 Desarrollo espacial (ver Guay, 1977).....	50
Figura 6 Diseño metodológico de la investigación.....	66
Figura 7 Identificación de átomos quirales o centros estereogénicos.....	88
Figura 8 Transformación de representaciones (2D-Fischer) .....	94
Figura 9 Análisis espacial. ....	95
Figura 10 Isómeros del Cis 1,4 dimetil ciclohexano). ....	100
Figura 11 Isómeros del Trans 1,4 dimetil ciclohexano.....	100
Figura 12 Dibujos E.1 para determinar el enantiómero (S) de la Fenfloramida.....	101
Figura 13 Identifica carbonos quirales.....	106
Figura 14 Dibujos enantiómeros y diastereoisómeros ácido 2,3 dihidroxi, 4 metil butanoico. ...	111
Figura 15 Dibujos E.1 para determinar el enantiómero (S) de la fenfloramida.....	112
Figura 16 Transformación de representaciones 2D-Fischer y viceversa. ....	123
Figura 17 Desempeño E.4 dificultades para resolver ejercicios enantiómero-diastereoisómero .	143
Figura 18 Identifica moléculas quirales, por medio de asteriscos .....	148
Figura 19 Dibujos E.4 para determinar el enantiómero (S) de la Fenfloramida.....	158
Figura 20 Dibujos E.4 Isómeros del Cis y del Trans 1,4 dimetil ciclohexano .....	159
Figura 21 Identificar enantiómero y diastereoisómeros. ....	163
Figura 22 Identifica centros quirales en biomoléculas. ....	168
Figura 23 Dibujos E.4 para determinar el enantiómero (S) de la Fenfloramida.....	169
Figura 24 Dibujos E.4 transformación de representaciones 2D-Fischer y viceversa. ....	181
Figura 25 Ejercicio presentado en el pre-test y post-test giro molécula 2D 180° eje Y. ....	186
Figura 26 Relación Metacognición Pensamiento viso-espacial y aprendizaje de la estereoquímica. E.1 .....	196
Figura 27 Relación Metacognición Pensamiento viso-espacial y aprendizaje de la estereoquímica. E.4.....	197

## Lista de Gráficas

Gráfica 1 Desempeño E.1 durante el Pre-test y Post-test estereoquímica. ....	80
Gráfica 2. Porcentajes Dificultad al interpretar diferentes representaciones moleculares.....	125
Gráfica 3. Representaciones que son interpretadas con facilidad por los estudiantes. ....	127

## Lista de Anexos

### Anexo 1

Instrumento 1 y 9 (Pre-test-Post-test) Estereoquímica

Instrumento 2. Autorregulación

Instrumento 3. Isómeros del ciclohexano

Instrumento 4. Centro Quiral

Instrumento 5. Proyecciones fischer, Nomenclatura R-S

Instrumento 6. Enantiómeros – Diastereoisómeros

Instrumento 7. Taller extra-clase de estereoquímica

### Anexo 2

Entrevista

## Introducción

Hoy se reconoce el importante papel que cumple la metacognición en las aulas de clases, su importancia se deriva de las valiosas oportunidades que brinda para que el estudiante pueda tomar conciencia de sus propios procesos de aprendizaje, con el propósito de que sea el mismo quien conozca, controle y regule sus métodos de aprendizaje; la enseñanza de estrategias autorreguladoras se acoge dentro de un modelo constructivista (Martí, 1995; Tamayo, 2006), donde el papel del docente y del estudiante cambia radicalmente. Es nuestro interés investigativo conocer ¿Cómo se relaciona la metacognición y las habilidades viso-espaciales en el aprendizaje de conceptos en estereoquímica?, algunos autores (Campanario, 1999; Campanario & Moya, 1999) plantean que al incorporar la metacognición en el aula de ciencias se fortalece el pensamiento científico, la resolución de problemas (Rickey & Stacy, 2000) las concepciones y motivaciones de los estudiantes; otros autores conciben la metacognición como un medio que potencializa el cambio conceptual (Gunstone, 1994; Tamayo, 2009) como consecuencia de la reflexión que el estudiante hace sobre sus propias ideas o pensamientos.

Por otra parte, el estudio de las habilidades viso-espaciales en el aprendizaje de conceptos en química orgánica, han sido correlacionados por diversos autores (Pribyl & Bodner, 1987; Padalkar & Hegarty, 2012), incluyendo su incidencia en el desempeño académico de los estudiantes; evaluado principalmente por medio de la resolución de problemas. Estas investigaciones concluyen que el aprendizaje de la química, requiere que los docentes adopten lo que Mathewson (1998) considera como “cognición viso-espacial”, al incorporación de diversas herramientas de visualización molecular (Dori & Barak 2001; Gilbert, 2010), las cuales permitan al estudiante comprender, conocer e interpretar los diversos formatos visuales, empleados para estudiar la naturaleza microscópica y simbólica de la química.

La unidad didáctica diseñada adopta un modelo de instrucción metacognitivo para el aprendizaje de la estereoquímica, compuesta por 8 instrumentos de lápiz y papel y una entrevista estructurada; estos instrumentos incluían una serie de preguntas cortas (Campanario, 2000) las

cuales indagaban por las habilidades viso-espaciales de los estudiantes y por los procesos metacognitivos que llevaban a cabo al resolver los ejercicios propuestos; adicionalmente durante la resolución de los ejercicios y durante el aprendizaje de los conceptos estudiados, los estudiantes tenían la posibilidad de manipular los modelos físicos de moléculas (Organic Chemistry Molecular Model Kit<sup>1</sup>); con el propósito de potencializar la visualización tridimensional de las moléculas. Teniendo en cuenta que los contenidos específicos estudiados, hacen parte de un proceso de formación de nivel universitario, la recolección de datos se realizó en el programa de Licenciatura en Biología y Química de la Universidad de Caldas, con estudiantes de sexto semestre, quienes cursaban la asignatura de Química Orgánica I. Se realizaron 9 sesiones distribuidas en 5 semanas, con una intensidad horaria de 4 horas (semanales), la profesora titular guió, validó y acompañó el trabajo de la investigadora en el aula, quien fue la encargada de orientar, diseñar y aplicar la Unidad Didáctica para el tema de estereoquímica.

Dentro de los hallazgos más importantes, se encuentra la caracterización de los procesos metacognitivos que llevan a cabo los estudiantes; como resultado del modelo metacognitivo adaptado por el docente, cuyo objetivo principal era generar espacios de auto-reflexión por parte de los estudiantes. Se evidencia la toma de conciencia respecto a lo Qué saben y no saben, así mismo se encuentra que los procesos de planeación se relacionan con las evaluaciones que efectúan en torno a las estrategias seguidas, aunque en algunos casos resuelven los ejercicios siguiendo un proceso mecánico ausente de reflexión. Es importante resaltar que las auto-evaluación (Monitoreo) realizadas por los estudiantes permitieron identificar los factores que indican de manera negativa y positiva en su desempeño; estas declaraciones develaron el papel que cumplen las habilidades espaciales en la comprensión y en la exitosa resolución de los ejercicios.

Respecto a las habilidades viso-espaciales y su papel en la resolución de ejercicios en estereoquímica, encontramos que los estudiantes presentan dificultades en la traducción y transformación de ciertas representaciones moleculares (Fischer, Newman), debido al alto

---

<sup>1</sup> Mega Molecules, LLC/ISBN 978-0-9820869-1-9

componente espacial que codifican (Padalkar & Hegarty, 2012); así mismo los estudiantes presentan dificultades al rotar mentalmente moléculas a un ángulo determinado, como consecuencia del débil proceso de visualización; por tal razón el establecimiento de las nuevas relaciones espaciales les genera dificultades. Es importante resaltar el indiscutible valor que los estudiantes otorgan al uso de los modelos concretos o modelos físicos de moléculas, argumentan que les ayuda a comprender las características tridimensionales de las moléculas; estos modelos se convierten en una excelente estrategia metodológica que apoya los procesos de visualización y percepción espacial.

Finalmente los estudiantes poseen dificultades al transformar una representación (Fischer-Dimensional y Dimensional- Fischer), la realización de enantiómeros y de diastereoisómeros de moléculas con más de dos centros quirales es sin duda un tarea compleja, no comprenden la diferencia entre ellos y tampoco saben cómo debe alternarse la configuración de un enantiómero para poder dibujar el correspondiente diastereoisómero, como consecuencia de esto nombrar un compuesto según la configuración R-S puede ser difícil, más aun, si el hidrógeno se encuentra en el plano o cerca del observador.

Respecto al aprendizaje de la estereoquímica, los estudiantes no presentaron dificultades para establecer los centros quirales o estereogénicos de las moléculas, con facilidad pueden dibujar e identificar la imagen especular de una molécula y los enantiómeros correspondiente al asignar la configuración R-S. Reconocen las características espaciales de una molécula quiral y aquiral, así mismo determinan después de un interconversión cuál es el isómero geométrico más estable de un ciclohexano; pueden además interpretar una representación (dimensional, desarrollada, semidesarrollada y 3D), deducimos que esto se debe a la familiaridad que poseen con estas representaciones frecuentes durante el estudio de la química.

# CAPÍTULO 1

---

## **Planteamiento del Problema, Justificación y Objetivos**

### ***1.1 Planteamiento del Problema***

La estereoquímica es una rama de gran importancia dentro la química orgánica e inorgánica, estudia la disposición espacial relativa que asumen los átomos o grupos en una molécula y es precisamente en este campo de la química donde se presentan importantes problemas de comprensión para los estudiantes, según Ferk, Vrtacnik & Andrej (2003) debido en parte a la alta exigencia cognitiva que se requiere. Pribyl & Bodner (1987) en su estudio sobre habilidades espacial y el desempeño en química orgánica, hallaron una correlación entre estos dos aspectos, donde los estudiantes con habilidades espaciales altas tuvieron mejores desempeños que aquellos con habilidades espaciales bajas. Parrill & Gervay (1996) señalan que aunque la estereoquímica es un tema que involucra el estudio de conceptos tridimensionales la mayoría de exámenes e incluso las clases se llevan a cabo en dos-dimensiones.

Durante un estudio previo sobre Estereoquímica, Inteligencia espacial y procesos metacognitivos, realizado en la Universidad de Caldas se pudo evidenciar que, las habilidades espaciales de los estudiantes son limitadas y adicionalmente no son tenidas en cuenta durante la enseñanza de los conceptos que requieren de estas habilidades para poder ser comprendidos adecuadamente. Harle & Towns (2011) ponen de manifiesto que “Uno de los problemas que enfrentan los estudiantes cuando toman un curso que requiere el uso de habilidades espaciales es; que la instrucción no les ayuda directamente a aprender cómo usar las de habilidades visoespaciales dominio-específicas para resolver problemas” (p.257).

Adicionalmente, se halló que los estudiantes no son reflexivos frente a sus aprendizajes, rara vez durante las clases se desarrollan espacios, donde el estudiante y el docente puedan conocer las dificultades que se generan durante la enseñanza y el aprendizaje de un tema específico; el docente simplemente se limita a enseñar los temas dejando de lado la importancia de adoptar un enfoque metacognitivo que permita al estudiante, reflexionar, conocer y regular sus propios procesos de aprendizaje.

Lo anterior pone de manifiesto el modelo tradicionalista que aun reside en las aulas de ciencia, donde la metacognición no es concebida como un elemento que debe ser objeto de interés por parte del docente, durante la planeación y aplicación de los planes de clase; obviando los importantes resultados investigativos desarrollados dentro de la didáctica de la química (Rickey & Stacy, 2001; Pulmones, 2007; Rompayom, Tambunchang, Wongyounois & Deschsri, 2010); estos resultados apoyan y promueven la inclusión de la metacognición dentro del aprendizaje de la ciencia, elemento que proveerá información valiosa respecto a cómo aprenden ciencia los estudiantes, qué los motiva o no a aprender y cómo se pueden generar aprendizajes de calidad. En relación con lo anterior, Tamayo (2007) propone que ningún profesor debe enfrentarse a un proceso de enseñanza y aprendizaje si no conoce en detalle cómo sus estudiantes aprenden, destaca la necesidad de que los profesores conozcan cada vez mejor cómo aprenden los estudiantes lo que él les enseña.

Por su parte (Angulo & Garcia, 1997; Puebla & Talma, 2012) conciben la necesidad de incorporar el componente metacognitivo en la formación inicial de los docentes; adoptando así una postura reflexiva entorno a su propia práctica docente, transformándola y modificando según sea necesario, con el fin de ayudar al estudiante a comprender los conceptos científicos que se estudian.

## ***1.2 Preguntas de Investigación***

En concordancia con lo anterior, la presente investigación pretende dar respuesta a los siguientes interrogantes:

- ¿Cómo se relaciona la metacognición y las habilidades viso-espaciales en el aprendizaje de la estereoquímica?
- ¿Cuál es el papel de la metacognición en el aprendizaje de conceptos en estereoquímica?
- ¿Qué habilidades viso-espaciales inciden en el aprendizaje y en el desempeño de los estudiantes al resolver ejercicios de estereoquímica?

### *1.3 Justificación*

La realización de esta investigación se justifica desde la necesidad de incorporar un modelo constructivista para la enseñanza de las ciencias, el cual acoge y permite la reflexión metacognitiva dentro de los procesos de aprendizaje de la ciencia, especialmente en el campo de la didáctica de la química, donde el interés investigativo debe incrementarse.

Promover la metacognición en las clases parece una manera prometedora de mejorar la comprensión de conceptos y las habilidades para resolver problemas de ciencias, algunos profesores de ciencia han comenzado a implementar métodos de enseñanza que intentan estimular a los estudiantes a ser más metacognitivos. (Rickey & Stacy 2001, p.918)

Se plantea entonces un enfoque de instrucción metacognitivo el cual: promueve la autorregulación de los aprendizajes por parte del estudiante y la generación de diversas condiciones que favorecen un aprendizaje de calidad (White, 1999), lo anterior tendrá un efecto real, en la medida en que el docente adapte y genere modelos de instrucción que brinden oportunidades frecuentes para que el estudiante se auto-evalúe (Angulo & Jaramillo, 1997; Lin, 2001) de manera que pueda expresar aquello que sabe y que no sabe; desarrollando un conocimiento de sí mismo como aprendiz (Monereo, 1995).

Por otra parte, para promover el aprendizaje de conceptos en estereoquímica al nivel Microscópico y Simbólico, se empleó un enfoque viso-espacial el cual incluye el uso de una herramienta de visualización: los modelos físicos de moléculas (Gilbert, 2007, 2010), las animaciones tridimensionales (Wu & Shah, 2004) y el uso de diversas representaciones moleculares (Bodner & Domin, 2000; Bucat & Mocerino, 2009) con el fin de fomentar lo que Mathewson (1998) considera como “cognición viso-espacial”, elemento que debe ser considerado durante la enseñanza de las ciencias. Esta propuesta metodológica tiene como objetivo mejorar y promover el desarrollo de las habilidades viso-espaciales en los estudiantes mientras aprenden y resuelven ejercicios en estereoquímica. Harle & Towns (2011) consideran que el reto para el profesorado es ayudar al estudiante a ser competentes en las habilidades espaciales en dominios-específicos claves para conectar las representaciones de las partículas al conocimiento conceptual y simbólico.

Consideramos pues, que este trabajo aportará elementos metodológicos importantes sobre la adaptación de un modelo de instrucción que promueve la metacognición en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias; específicamente de la química, ciencia abstracta que requiere de diversas herramientas visuales para comprender su naturaleza microscópica y dinámica.

### ***1.4 Objetivos***

#### *General:*

- Estudiar ¿Cómo se relaciona la metacognición y las habilidades viso-espaciales en la enseñanza y en el aprendizaje de la estereoquímica?

#### *Específicos:*

- Conocer los procesos metacognitivos que llevan a cabo los estudiantes mientras resuelven ejercicios en estereoquímica.
- Identificar las habilidades viso-espacial que interviene en el aprendizaje de la estereoquímica.
- Diseñar y aplicar un modelo de instrucción metacognitivo y viso-espacial para la enseñanza y el aprendizaje de conceptos en estereoquímica.

### **Marco teórico**

#### *2.1 Antecedentes de la Investigación*

Las investigaciones que a continuación se citan, estudian y destacan la importancia de la metacognición en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia, específicamente en el campo de la química<sup>2</sup>. Algunas de estas investigaciones si bien difieren de los objetivos propuestos en nuestro trabajo, estas proveen información valiosa respecto: a) los métodos e instrumentos desarrollados para evaluar la metacognición en el aula, b) estrategias metacognitivas, c) la importancia de generar la reflexión metacognitiva en el aula de ciencias. Es importante resaltar que ninguna de las investigaciones presentadas dentro de los antecedentes abordan de manera integral los tres componentes que proponen Gunstone & Mitchell (1998) para el estudio de la metacognición: 1.Conocimiento, 2.Conciencia y 3.Control

Con relación a los métodos e instrumentos desarrollados para evaluar la metacognición en el aula, Sandy & Cooper (2010) desarrollaron dos métodos mixtos para la evaluación y desarrollo de la metacognición en la enseñanza de la química en ambientes de aprendizaje y de solución de problemas. Un auto-reporte de 27 ítems (MCAi) exploró el uso del componente regulador de la metacognición en la solución de problemas de química universitaria. El instrumento multimedia (IMMEX) permitió registrar y procesar por medio de un modelado de redes neuronales artificiales las estrategias que construyen los estudiantes para resolver el problema propuesto.

---

<sup>2</sup> En los antecedentes y en el marco teórico de esta investigación nos referimos tanto al proceso de enseñanza y de aprendizaje de la esteoquímica y su relación con la metacognición. Es importante resaltar que nuestro objeto de investigación se refiere de manera específica al aprendizaje de la esteoquímica.

El laboratorio de química se usó para promover la metacognición y el desarrollo de habilidades para resolver problemas en química; se trabajó de forma individual y grupal donde el docente le brinda la oportunidad a los estudiantes de reflexionar sobre la planeación, el monitoreo y la evaluación. Concluyen los autores que los estudiantes en el laboratorio mostraron mayor uso de habilidades metacognitivas. Señalan que el estudio cuantitativo revela que la experiencia en este tipo de ambiente de aprendizaje, promueve el uso de habilidades metacognitivas de regulación y de las habilidades para resolver problemas. Finalmente señalan el beneficio de participar en interacciones sociales significativas y el efecto de la inducción de reflexión metacognitiva.

Por otra parte Rompayom, Tambunchang, Wongyounois & Deschsri (2010) desarrollan un inventario metacognitivo para medir el conocimiento metacognitivo de los estudiantes en relación a los conceptos de enlace químico en estudiante de décimo grado. Este instrumento tiene como fin estudiar el conocimiento metacognitivo (declarativo, procedimental y condicional) de los estudiantes. Se desarrollaron 7 cuestionarios con preguntas abiertas, donde los estudiantes podían expresar qué saben acerca de sus propias ideas, de las estrategias cognitivas y de la utilización de las mismas. Se diseñaron dos tareas con el fin de conocer si los estudiantes poseen una habilidad metacognitiva alta cuando claramente: explican la tarea dada en relación con un método específico (estrategia) para la resolución de problemas, y si justifican cuándo y por qué utiliza esta estrategia. Así mismo se estudió si los estudiantes describen su forma de pensar, el conocimiento utilizado en sus respuestas y la explicación que dan respecto a cuándo y por qué los empujan.

Los autores consideran que para la práctica en el aula, la medida de las habilidades metacognitivas de los estudiantes puede ayudar a los maestros a saber qué tan bien los estudiantes aprenden la ciencia con el propósito de ayudarlos a mejorar sus habilidades. Sugieren además que las investigaciones futuras deberían extenderse al control metacognitivo que se centra en cómo los estudiantes regulan su propio aprendizaje.

La metacognición y su relación con el desempeño en química también es objeto de interés; Rahman, Jumani, Ajmal, Hasan & Abbasi (2010) proponen determinar el impacto de la conciencia metacognitiva sobre el desempeño en química en estudiantes de grado décimo. La

consciencia metacognitiva se evaluó mediante el inventario metacognitivo de (Schraw & Dennison, 1994) y para medir el rendimiento académico se usó un test de 30 ítems diseñado por el investigador en la asignatura de química.

Los resultados entorno al impacto de la consciencia en el desempeño académico, mientras resuelven el test en la asignatura de química revela; una correlación significativa entre el conocimiento metacognitivo y el desempeño de los estudiantes en el test. Concluyen además que, la metacognición puede desempeñar un papel importante en el logro académico de los estudiantes, el análisis estadístico indica que la alta consciencia metacognitiva de los estudiantes se relaciona con un mejor desempeño, que los estudiantes con consciencia metacognitiva baja.

La incorporación de estrategias metacognitivas para mejorar la enseñanza de la química universitaria, propuesta por Parolo, Barbieri & Chrobak (2004) busca facilitar el aprendizaje en profundidad por medio del uso de herramientas metacognitivas destinadas a la comprensión y resolución de problemas sobre el tema de soluciones. Su objetivo es mejorar la calidad de la enseñanza de la química universitaria al incorporar estrategias metacognitivas. Se trabajó en forma grupal e individual en la construcción de mapas conceptuales a partir del tema de soluciones, además se realizó una entrevista clínica al terminar la unidad; se les pide a los estudiantes de primer año inscritos en la asignatura de química I, que traten de enriquecer el mapa construido inicialmente, con todos los conceptos discutidos.

Dentro de los resultados obtenidos encontraron que al comparar los mapas realizados al inicio y al final de la unidad, los mapas posteriores mostraron mayor cantidad de conceptos y presentaron una mayor riqueza en las relaciones. Estimaron que incitando a los estudiantes a verbalizar sus conocimientos y en particular los conceptos estudiados, se favorece la reflexión metacognitiva; finalmente señalan que se trata de crear situaciones de aprendizaje que obliguen a usar de forma continua las estrategias para que se convierta en hábito y estilo de aprendizaje.

Pulmones (2007) evalúa los resultados de *Aprender Química en un ambiente metacognitivo*. El objetivo de la investigación era evaluar cómo los estudiantes planean, monitorean y evalúan su aprendizaje a través de diversas actividades metacognitivas. Se diseñaron y estructuraron diferentes actividades en química en temas relacionados con (el concepto de mol, cambios químicos y físicos, propósito y significado de la química, etc.) bajo un

entorno constructivista el cual promueve la metacognición y el aprendizaje significativo. Se utilizaron una serie de preguntas metacognitivas (Inventario metacognitivo en ciencias) se asignaron 7 ítems para planeación, 11 para monitoreo y 8 para evaluación, a cada ítem se le asignó una puntuación 1 (nunca) a 4 (siempre). Su puntuación en MIS sirve como su índice metacognitivo inicial, luego se analizan las dimensiones de la metacognición y se midió su conducta (Alta-Media-Baja).

Pulmones (2007) concluye que: “la dificultad de las tareas, el tiempo invertido en la realización de estas tareas, y su adhesión a los principios constructivistas afecta el grado en que los estudiantes manifiestan conductas metacognitivas” (p.174). Así mismo considera que las diferentes actividades metacognitivas, deben ser estructuradas de tal manera que el estudiante pueda planear, monitorear y evaluar sus procesos de aprendizaje. Si esto es constantemente realizado en el aula de Química, los estudiantes pueden abiertamente manifestar una conducta metacognitiva que conduce a un aprendizaje significativo.

Una investigación realizada en la Universidad de Caldas titulada ¿Cómo interactúan la inteligencia viso-espacial y la metacognición en el proceso de resolución de problemas en el campo de la estereoquímica en estudiantes de Química Orgánica I del programa de Licenciatura en Biología y Química de la Universidad de Caldas?, a través de un instrumento de lápiz y papel presentaba 9 ejercicios relacionados con el tema de estereoquímica (Imagen especular, giros mentales y giro de moléculas a diferentes ángulos) y una serie de preguntas metacognitivas con el fin de poder determinar los procesos metacognitivos que llevan a cabo los estudiantes cuando resuelve problemas en estereoquímica.

Cadavid, Estrada, Morales y Tamayo (2008), subrayan dentro de los resultados, que la metodología de enseñanza del docente, se deriva de una concepción tradicionalista de la misma, donde el estudiante debe aprender lo que el explica. Dentro de los resultados más significativos resaltan el valor de la conciencia metacognitiva de los estudiantes, al hacer explícitas las dificultades que tuvieron mientras resolvían los problemas propuestos. Así mismo la evaluación que realizan, permitió identificar qué factores indican en la solución adecuada de los ejercicios; señalan reiteradamente la necesidad de trabajar con modelos físicos de moléculas.

Concluyen, que la relación entre los procesos metacognitivos y la inteligencia espacial, se evidencia desde las reflexiones de los estudiantes, sobre las dificultades que se presentan al no ser capaces de realizar operaciones mentales como: la visualización de moléculas en 2D y 3D y la realización de giros mentales. Finalmente proponen que la enseñanza de la química y específicamente de la estereoquímica requiere del uso y de la introducción de herramientas de visualización molecular como los modelos físicos de moléculas o software de simulación, que brindan a los estudiantes la posibilidad de percibir las estructuras tridimensionales de las moléculas.

En las siguientes páginas se abordará el tema de la metacognición, comenzando por el origen del término, resaltando las aportaciones realizadas por algunos de los autores más representativos respecto a sus componentes y dimensiones; posteriormente se exponen los marcos teóricos desde los cuales se ha abordado su estudio, se destacan principalmente las características de los modelos de instrucción metacognitiva, que desde la literatura se consideran exitosos; se matizarán aquellas propuestas dirigidas a fortalecer y mejorar los procesos de enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. Se finaliza, exponiendo el modelo de instrucción metacognitivo diseñado con el fin de promover la reflexión metacognitiva durante la enseñanza y el aprendizaje de conceptos en estereoquímica.

## ***2.2 Metacognición***

### ***2.2.1 El concepto***

El término metacognición fue introducido inicialmente por Jhon Flavell en la década de los años 70, mientras estudiaba principalmente la memoria, tiene una importancia capital en el aprendizaje, convirtiéndose en los sistemas de alerta y de conciencia que han de acompañar a toda labor intelectual; desde entonces el interés investigativo en el campo de la educación ha crecido considerablemente, (Flavell, 1979; Gunstone, 1994, Sigmund & Howard, 2009) es por tal razón, que hoy, existe un amplio discurso entorno a que significa la metacognición.

Schraw (1998, p.116) plantea que la metacognición consiste en el conocimiento y en las habilidades regulatorias que se utilizan para controlar nuestra cognición.

Floréz (2000) señala que: “La metacognición se refiere a los conocimientos que las personas tienen sobre su propia cognición, motivándolas a prever acciones y a anticipar ayudas para mejorar su rendimiento y resolver mejor los problemas” (p.5). El autor considera que un estudiante que es capaz de autorregular su proceso, podrá comprender y resolver de manera eficiente la tarea o problema propuesto.

Sigmund & Howard (2009, p.108) consideran que la metacognición “es un proceso ejecutivo de orden superior que monitorea y coordina otros procesos cognitivos comprometidos en el aprendizaje, tales como, recordar, ensayar o resolver problemas”.

De las anteriores definiciones se diferencian dos componentes iniciales de la metacognición: a) el conocimiento que posee el individuo sobre su propia cognición (Qué conoce, Qué desconoce, Qué le es más difícil de aprender o comprender y por qué etcétera.) y b) la regulación o control de los procesos cognitivos, donde el sujeto pone en marcha una serie de actividades con el fin de cumplir con una tarea determinada, entre las cuales se encuentra: la formulación de pasos o secuencias, la aplicación y monitoreo de las estrategias seguidas y la evaluación de las mismas en términos de eficacia.

Acogemos desde nuestro interés investigativo la definición propuesta por Gunstone (1994) quien considera que la metacognición” Se refiere al conocimiento, conciencia y control del propio aprendizaje” (p.134). En relación a lo anterior, a continuación se abordarán cada uno de los elementos anteriormente mencionados.

### ***2.2.2 Componentes de la metacognición***

Flavell (1979) define la metacognición como “el conocimiento que uno tiene acerca de los propios procesos y productos cognitivos o de cualquier otro asunto relacionado con ellos” (p. 107). El autor establece que el control de una amplia variedad de empresas cognitivas se produce a través de las acciones e interacciones entre cuatro clases de fenómenos:

- a) Conocimiento metacognitivo.
- b) Experiencias metacognitivas.
- c) Metas (tareas).
- d) Acciones (o estrategias).

### *Conocimiento*

El conocimiento metacognitivo consiste principalmente en el conocimiento acerca de los factores o variables que afectan el curso o el resultado de la empresa cognitiva. Existen tres grandes categorías de estas variables o factores (personales, tarea, estrategias), este conocimiento permite que la persona identifique los factores positivos o negativos que pueden incidir directamente en el logro de una meta u objetivo, puede ser subdividido a su vez dentro de tres categorías: Conocimiento de las variables personales, variables de la tarea y variables de las estrategias (Flavell, 1987, p, 21,22)

Categoría personal: Abarca todo lo que puede creer sobre la naturaleza de sí mismo (qué se, qué no sé, qué puede mejorar o afectar mi desempeño). Flavell considera que estas variable posee las siguientes Sub-categorías: inter-personales (conocimiento y reconocimiento de los otros como sujetos con características cognitivas similar o diferentes a las propias) intra-personales (conocimiento de mi propia actividad cognitiva) y universales (naturaleza de la cognición, por ejemplo el reconocimiento de la memoria, de la atención o de la clasificación, etc.)

Categoría de las tareas: Se refiere a la información disponible durante una empresa cognitiva, puede ser abundante o escasa, familiar o desconocida, redundante o densamente empaquetada, interesante o aburrida etcétera. (Flavell, 1979, p.107). Está información ofrece la oportunidad de identificar y conocer las demandas de la tarea propuesta, al determinar si la información es escasa o insuficiente o si se requiere de una búsqueda complementaria.

Categoría de las estrategias: Hace referencia al conocimiento que puede ser adquirido respecto a: Qué estrategias pueden ser efectivas en el logro de metas o sub-metas, y en qué tipo

de tarea cognitiva, la persona establece y ejecuta las estrategias, que debe tener en cuenta para cumplir satisfactoriamente el objetivo propuesto, este conocimiento sobre las estrategias se irá incrementando gradualmente, porque el estudiante se inicia cada vez más en actividades que requieren diferentes tipos de solución.

Schraw & Moshman (1995) señalan que: “El conocimiento de la cognición se refiere a lo que las personas saben acerca de su propia cognición o sobre la cognición en general” (p.353). Los autores enuncian al menos tres tipos diferentes de conocimiento:

1. Conocimiento declarativo: Incluye el conocimiento acerca de uno mismo como aprendiz y sobre los factores que influyen en su desempeño.
2. Conocimiento procedimental: Se refiere al conocimiento acerca de la ejecución de las habilidades procedimentales, mucho de este conocimiento se representa como heurístico y de estrategias (Schraw, 1998, p.114). Schraw & Moshman, (1995) sostienen que: “Desde un punto de vista didáctico, varios estudios indican que ayudar a los estudiantes más jóvenes a aumentar su conocimiento procedimental mejora su rendimiento para resolver problemas” (p. 353).
3. Conocimiento condicional: Se refiere al conocimiento sobre el cuándo y el por qué; permite a los estudiantes adaptarse a las cambiantes demandas situacionales de cada tarea de aprendizaje (Schraw, 1998, p.114)

En conclusión el conocimiento metacognitivo implica: conocer aquellas variables intrapersonales (conocimiento explícito sobre sí mismo, respecto a, lo que sabe y lo que desconoce cuándo desarrolla una meta escolar), formular o seleccionar estrategias para resolver un ejercicio o tarea escolar y saber, cómo, cuándo y por qué, usar las estrategias disponibles basándose en las características particulares de la tarea a resolver.

### *Experiencias metacognitivas*

Flavell (1979) determina que las experiencias metacognitivas “tienen que ver con donde estas en una actividad y qué tipo de progreso estás haciendo o puedes hacer” (p.908), además supone que es especialmente probable que ocurra en situaciones que estimulan pensamiento conciente y gran cantidad de cuidado; en un trabajo o en una actividad escolar que exige esa clase de pensamiento.

Así pues, las experiencias metacognitivas, son aquellas situaciones cognitivo/afectivas donde se hace un análisis conciente del proceso en curso, estas experiencias brindan información importante respecto a nuestro desempeño, si fue o no efectivo en el logro de una meta establecida, esta primera taxonomía presenta las variables que componen: el conocimiento y las experiencias metacognitivas, las cuales podrán ser útiles para diseñar modelos de instrucción que permitan al estudiante y al docente conocer y controlar sus procesos cognitivos.

### *Regulación*

Schraw & Moshman (1995, p.354) y Schraw (1998, p.114), establecen que “la regulación de la cognición se refiere a las actividades metacognitivas que ayudan a controlar nuestro pensamiento o aprendizaje” apoyan la hipótesis, “la regulación metacognitiva mejora el rendimiento en numerables maneras, incluyendo un mejor uso de los recursos de la atención, un mejor uso de las estrategias existentes, y una mayor conciencia de las disminuciones en la comprensión”.

Brown (citada por Tamayo, 2006, p.3) señala los tres procesos cognitivos esenciales:

1. Planeación: es un proceso que se realiza antes de enfrentar una tarea o meta escolar, implica la selección de estrategias apropiadas y la localización de factores que afectan el rendimiento; la predicción, las estrategias de secuenciación y la distribución del tiempo o de la atención selectiva antes de realizar la tarea; consiste en anticipar las actividades, prever resultados, enumerar pasos”.

2. Monitoreo: se refiere a la posibilidad que se tiene, en el momento de realizar la tarea, de comprender y modificar su ejecución, por ejemplo, realizar auto-evaluaciones durante el aprendizaje, para verificar, rectificar y revisar las estrategias seguidas.
3. Evaluación: Realizada al final de la tarea, se refiere a la naturaleza de las acciones y decisiones tomadas por el aprendiz; evalúa los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia.

Brown & Sullivan (1987) para ilustrar la regulación de la actividad cognitiva, proponen el siguiente ejemplo:

Un estudiante que indica que es necesario prepararse de manera diferente para un examen fácil que para un test de múltiples respuestas está reflejando conocimiento metacognitivo. El mismo estudiante que (planea) un enfoque para estudiar, por ejemplo parafraseando el texto mientras está leyendo, (monitorea) la eficacia de ese enfoque de trabajo, y (evalúa) los resultados de tal plan, está abordando la regulación de la cognición. (p.66).

Estas actividades suponen un actuar en tres momentos diferentes: *antes* de abordar la tarea propuesta (puede realizar un análisis previo sobre las variables que pueden afectar su desempeño, diseñando pasos o secuencia que le ayuden a cumplir el objetivo señalado) *durante* (la ejecución de los paso o secuencia el estudiante tiene la posibilidad de examinar si el proceso que está llevando a cabo lo está alejando o acercando a la meta) y *después* tendrá (la posibilidad de evaluar los resultados obtenidos, que le permiten determinar la eficacia de los procedimientos aplicados).

A manera de síntesis, Schraw & Moshman (1995) indican que: “el conocimiento de la cognición y la regulación de la cognición no son independientes uno de otro” (p.356) A su vez Martí, (1995) plantea la inter-relación que se establece entre el *conocimiento* que una persona tiene sobre sus procesos cognitivos y la *regulación*. Los conocimientos que tiene una persona sobre los mecanismos de control o regulación, influyen en el conocimiento metacognitivo; se puede inferir, que cada vez que el estudiante se involucra en diferentes tareas donde el conocimiento y la regulación metacognitiva se ponen en juego, estos componentes se fortalecerán cada vez más.

## *Conciencia*

Otro componente dentro del estudio de la metacognición es la *conciencia*, la cual ha sido considerada por algunos autores (Flavell, 1979, 1987; Kuhn, 2000; Monereo, 1995; Soto 2002; Tamayo, 2006) como una unidad cardinal durante el desarrollo metacognitivo en los estudiantes. Nuestro interés es abordar la conciencia, desde posturas educativas y pedagógicas, debido a que es un tema cuyas discusiones se encuentra en áreas como la filosofía y la psicología; en las páginas siguientes sólo nos enfocaremos en analizar la importancia de la conciencia, como mecanismo precursor, o iniciador del proceso que conlleva al conocimiento y la regulación de los propios procesos cognitivos.

Kuhn (2000) plantea que el desarrollo metacognitivo, como un proceso prolongado, que emerge temprano en la vida, se fortalece y agudiza bajo el control conciente que ejerce el individuo a través del tiempo cuando gana experiencia en actividades metacognitivas. La autora hace un reiterado énfasis en la importancia que tiene la toma de conciencia en los procesos que conducen al desarrollo metacognitivo. Así mismo, Flavell (1987, p.26) considera que en la medida en que somos más conscientes de las experiencias cognitivas y afectivas que interviene en una tarea o actividad específica, podremos entonces aprovechar dichas experiencias y así aproximarnos a las actividades metacognitivas.

Para estos autores la toma de conciencia se incrementa en la medida en que nos vemos involucrados en actividades o tareas que requieren de un control respecto a lo que se está llevando a cabo, estas interacciones inciden en el futuro análisis de las tareas y de las estrategias que se llevarán a cabo para resolver una tarea específica, de la cual ya se tiene alguna idea o experiencia preliminar.

Tamayo define (2006) la conciencia metacognitiva como “un saber de naturaleza intra-individual, se refiere al conocimiento que tienen los estudiantes de los propósitos de las actividades que desarrollan y de la conciencia que tienen sobre su progreso personal” (.p.3).

Se deduce de lo anterior, que la toma de conciencia por parte del estudiante, conlleva al conocimiento de los procesos cognitivos, puestos en marcha, durante la solución de una meta escolar; esta información podrá ser usada sucesivamente para determinar e identificar, aquellos

factores que intervienen directa e indirectamente en el logro de una meta propuesta y en general de su desempeño, desencadenando proceso metacognitivos; que involucran la planeación el monitoreo y la evaluación. Sintetizando lo antes planteado, respecto a los componentes que hacen parte del estudio del y análisis de la metacognición, la figura uno elaborado por Tamayo (2006, p.6), proporciona una adecuada y coherente ilustración de los elementos revisados con anterioridad.

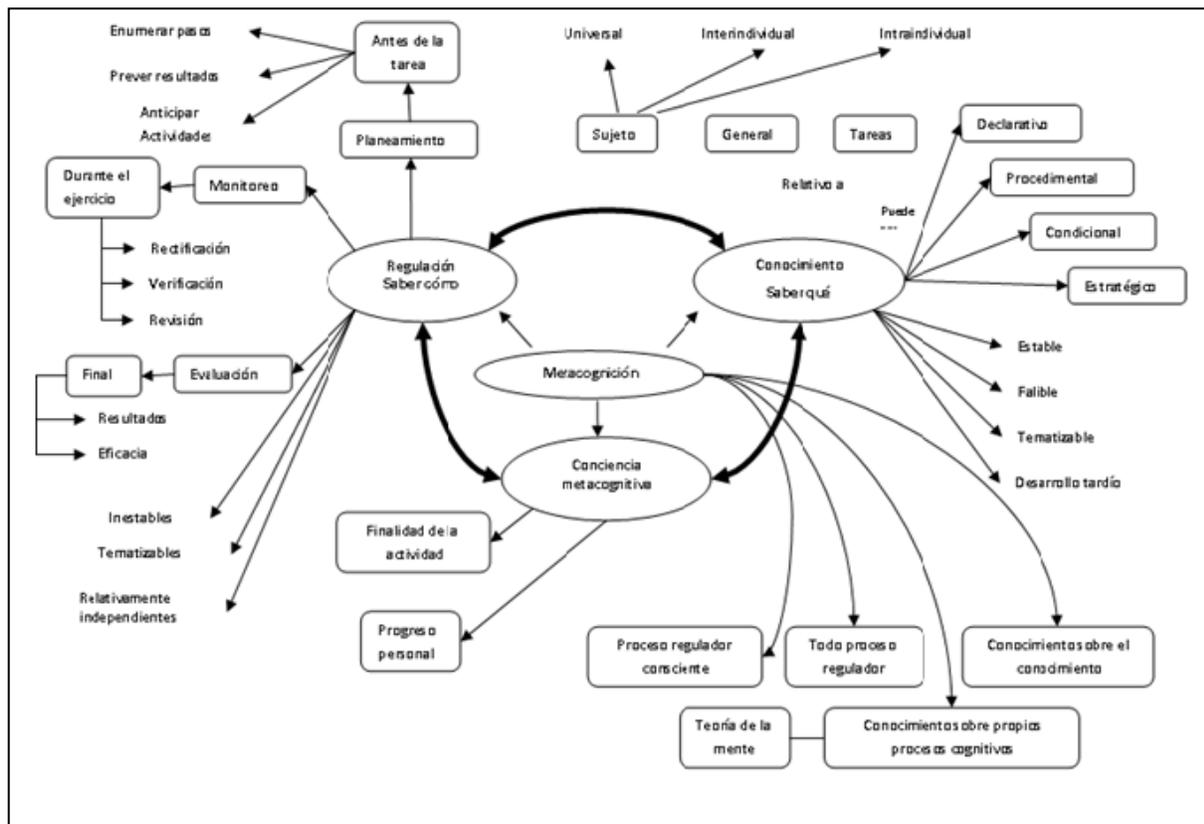


Figura 1 Componentes de la metacognición Tamayo (2006)

### 2.2.3 Marcos teóricos que fundamentan la metacognición

A continuación se exponen los marcos teóricos desde los cuales, se ha abordado el estudio de la metacognición, Hemos tomado como referencia el análisis propuesto por Guerra (2003) y por Soto (2002) respecto a estas tres posturas teóricas:

- Procesamiento de la información.
- La teoría de Piaget y finalmente.
- La teoría de Vigotsky.

Se exponen a continuación una breve reseña de cada una de ellas. En relación al procesamiento de la información, Guerra (2003) considera que:

Los modelos que abordan el conocimiento humano como un sistema de procesamiento de información, han incluido un procesador central que es capaz de planificar inicialmente el desarrollo de la actividad intelectual y controlar posteriormente su ejecución, caracterizando el comportamiento inteligente como aquél que conscientemente organiza un plan de acción y lo lleva a la práctica, automatizándolo de forma progresiva. De esta manera, el individuo crea una estructura jerárquica de reglas y estrategias, a partir de sus propias experiencias, que sirven para regular, dirigir, controlar y evaluar sus acciones de aprendizaje.

El concepto de control ejecutivo se relaciona con el procesamiento de la información

Se menciona que cualquier actividad cognitiva requiere un sistema de control que planifique, regule y evalúe la actividad en curso para que sea ejecutada en forma correcta. Sostiene el autor que este marco teórico aportan importantes conceptos para explicar la metacognición. Por un lado al enfatizar el proceso de la supervisión en la solución de tareas, remarcan la distinción de dos aspectos: los conocimientos que posee y ejecuta el sujeto en una situación concreta y el control ejecutado sobre sus propias acciones para conseguir su objetivo (Guerra 2003).

Teniendo en cuenta lo antes expuesto, se puede sintetizar que desde la perspectiva del procesamiento de la información, cualquier actividad cognitiva está determinada por un ente de control, que conduce el proceso subyacente de planificación y control de la actividad que se está llevando a cabo; con el fin de que se cumpla una meta con éxito, se concibe la idea de que la actuación metacognitiva posee tres aspectos importantes a considerar: la planeación como un proceso de anticipación, donde se determinan los factores positivos o negativos que pueden incidir en el desarrollo de la tarea, el control realizado durante el proceso de aplicación e implementación de la estrategia elegida y la evaluación realizada al final del proceso.

Soto (2002) plantea:

La contribución de Piaget, en torno a lo qué significa la toma de consciencia, la abstracción y los procesos autorreguladores, aspectos fundamentales que permiten explicar cómo y por qué se construye el conocimiento. La toma de consciencia vendría a ser un proceso de conceptualización (ubicado en el plano representativo) sobre aquello que ya se ha adquirido en el plano de la acción. La toma de consciencia como proceso, puede admitir distintos grados de la misma, los cuales pueden desembocar en conocimientos explícitos que es posible que el sujeto pueda exteriorizar mediante sus acciones o verbalizaciones

El proceso de abstracción es recurrente y aparece en cualquier etapa del desarrollo, permitiendo la creación de conocimiento cada vez más elaborados; no obstante, sólo en las operaciones formales se acompaña de una toma de conciencia, en el curso de los cuales sujeto se da cuenta de forma clara de su proceso de abstracción. Para Piaget, los procesos de autorregulación son la clave del desarrollo cognitivo, dado que proveen una dinámica interna irreductible a la influencia tanto del medio (físico o social) como a la programación hereditaria. (p.34).

Finalmente, Soto (2002) considera:

Vygostki, con sus constructos de internalización y zona de desarrollo próximo, ha permitido realzar la importancia de los mecanismos intersicológicos en situaciones interactivas, en las que participan varios sujetos. Aquí no se trata de una simple y pasiva transposición de la regulación externa (intersicológicos) a la regulación interna (intrapicológica), sino que se trata de un proceso en el que el niño modela de manera activa las acciones de planificación, control y evaluación a partir de los aportes dados en el plano social y en los ejes de desarrollo a partir del juego, del estudio y de la comunicación (p.36-37).

Guerra (2003) concluye que los marcos teóricos previamente revisados:

Remarcan una característica especial, el procesamiento de información le da mayor peso al control ejecutivo, dado que su modelo cognoscitivo valora en alto grado el papel de la supervisión. La epistemología genética de J. Piaget enfatiza un proceso de equilibración entre los procesos de la conciencia y los de autorregulación. Por último, la teoría Histórico cultural enfatiza el contexto social en el cuál se posibilita la interiorización de las competencias y habilidades del individuo para que éste pueda ser consciente de los procesos psicológicos involucrados en una tarea y, además pueda autorregularse.

#### ***2.2.4. La Metacognición y los modelos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias***

Partiendo de nuestro interés investigativo, de conocer y develar la relación que se establece entre la metacognición y los procesos de aprendizaje de las ciencias; es necesario comprender su importancia, Tamayo (2006) analiza el componente metacognitivo en los diferentes modelos adoptados para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias; se resumen a continuación algunas de las descripciones más importantes realizadas por el autor.

*Modelo tradicionalista:* La ciencia se concibe como un ente cerrado, donde las teóricas y principios son constructos ya establecidos, no hay reflexión en torno al componente histórico-epistemológico de la misma, los conocimientos científicos deben ser aprendidos y asimilados por el estudiante, el cual se concibe como un página en blanco, carente de cualquier conocimiento previo, el docente se reconoce como la única figura poseedora del conocimiento y el uso extensivo del lenguaje caracteriza la comunicación en el aula. El autor plantea que:

La observación, como la actividad central en el aprendizaje, sólo permite captar la apariencia externa de los fenómenos estudiados, privilegiar la observación del fenómeno o concepto a aprender en sí mismo sin hacer evidente que observamos desde nuestras ideas y desde nuestras experiencias, desplaza la reflexión metacognitiva a un segundo plano (Tamayo, 2006, p.11).

*Modelo de aprendizaje por descubrimiento:* (Jiménez, 2000). Algunas de las características de este modelo, señala que su aparición se relaciona con el rechazo al modelo tradicionalista, la ciencia se inscribe en el método científico universal y objetivo, el estudiante aprenderá ciencias por medio de actividades experimentales donde el mismo descubre los conocimientos, desde un razonamiento inductivo, el docente se concibe como un actor pasivo el cual no proporciona orientación en la resolución de problemas, sólo brinda espacios para las actividades experimentales.

Tamayo (2006) concluye “Sobre la metacognición en el aprendizaje por descubrimiento, el marcado énfasis en los procesos empíricos, dificulta la reflexión metacognitiva, procesos orientados por principios sensual-empiristas la reflexión sobre los propios procesos de pensamiento quedan en segundo plano” (p.20).

*Modelo constructivista:* Siguiendo a (Jiménez, 2000) este modelo surge en los 80, como resultado de las investigaciones sobre las ideas alternativas, la relación entre las ideas de los estudiantes frente a diversos fenómenos y la resistencia que manifiestan, incluso después de la instrucción formal. El aprendizaje de las ciencias implica un proceso donde se reconstruyen los conocimientos o se confrontan con las ideas del que aprende. Se descarta la concepción del estudiante como una página en blanco y se comienza a ser más énfasis en la importancia de las ideas que han construido; la instrucción se deriva del conocimiento de estas ideas por parte el docente y del estudiante, el reconocimiento de estas ideas por parte del estudiante, necesitará indudablemente de espacios donde pueda conocer y tomar consciencia de estas ideas; estos planteamientos señalan un componente importante de la reflexión metacognitiva la consciencia y el conocimiento de los procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje de un concepto o principio científico.

A manera de síntesis, en los modelos anteriormente analizados, se puede identificar las tendencias y concepciones en torno a cómo se enseña y cómo se aprende ciencias en las últimas décadas; la intención de este análisis, es identificar el modelo desde el cual se abre paso a la metacognición, como un elemento a considerar dentro del aprendizaje de las ciencias.

Finalmente Martí (1995) la metacognición desde un enfoque constructivista considera:

- La importancia de la toma de consciencia como mecanismo de cambio en el desarrollo y como elemento esencial de muchos aprendizajes.
- La necesidad de tomar en cuenta mecanismos autorreguladores para explicar el desarrollo cognitivo y la gestión eficaz de nuevos aprendizajes.
- La importancia de la regulación ejercida por otras personas para dar cuenta del aspecto social y guiado del desarrollo y del aprendizaje. (p.25)

### ***2.2.5. La Metacognición en la enseñanza y en el aprendizaje de las ciencias***

Retomando el análisis anterior, en torno a la metacognición en los diferentes modelos, queda claro que dentro de un enfoque o modelo constructivista la metacognición se abre paso; donde el actuar del docente y del estudiante cambian radicalmente. A continuación se presentan

diversas posturas respecto a la importancia de incluir la metacognición dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias; se destaca el papel del docente como un agente precursor de la metacognición, aquel que analiza, escoge y adapta aquellas metodologías fruto de las investigaciones en didáctica. Así mismo se establece una relación importante entre la metacognición y el logro de aprendizajes científicos; se considera además la reflexión metacognitiva como un mecanismo para que se el cambio conceptual (Rickey & Stacy, 2000; Tamayo, 2009; Gunstone, 1994; Campanario, Cuerva, Moya & otero, 1998) finalmente se revisan algunas actividades dirigidas a promover la metacognición en el aula.

### *Formación docente, adaptación y desarrollo de la metacognición en el aula.*

Con la intención de que el docente sea en primera instancia, el agente promotor de la metacognitiva en el aula Baird (citado por Soto 2001) dentro de su modelo de instrucción metacognitivo, plantea los principales objetivos que deben animar el trabajo de un docente, esto son:

- Preocuparse por desarrollar la toma de consciencia y entendimiento de los procesos de aprendizaje de sus alumnos.
- Asumir una actitud favorable hacia el proceso metacognitivo y buscar permanentemente que el alumno sea responsable por el desarrollo del control de su propio aprendizaje.
- Adoptar mecanismos que permitan la toma de control del aprendizaje por parte del alumno en el aula clase.

Un docente que desee incorporar la metacognición en el aula, debe ser capaz de reflexionar sobre cómo aprenden los estudiantes. Debe conocer las teorías actuales sobre el aprendizaje, en particular las propuestas provenientes del campo de la didáctica de las ciencias; estos conocimientos deben guiar el actuar pedagógico del futuro profesor, para identificar las dificultades de los alumnos durante el proceso de aprendizaje, así como los factores personales y sociales que influyen en dicho proceso. Incorporar el componente metacognitivo en la formación inicial de los docentes se concibe como una necesidad creciente. Se requiere entonces, un

docente capaz de reflexionar sobre su propia práctica, transformándola y modificando según sea necesario (Angulo & Garcia, 1997; Puebla & Talma, 2012)

Monereo (1995) también expresa que para que se dé un enfoque reflexivo en el aula, este debe ser implementado por el docente, quien ayuda al estudiante a conocer y aplicar adecuadamente aquellas estrategias que le permitirán controlar sus propios procesos de aprendizaje.

Un estudio que respalda la importancia de la reflexión metacognitiva del docente durante la planificación e implementación de las secuencias de aprendizaje, es desarrollado por Ranee-Subramaniam (2009, p.743) señalando que principalmente que los hallazgos de este estudio “revelan evidencia de las prácticas metacognitivas de los profesores en la formulación y reformulación de estrategias y enfoques pedagógicos, haciendo el aprendizaje más accesible a todos los estudiantes”.

Retomando lo anterior, es indiscutible el papel del docente dentro de los procesos que conducen a la autorregulación de los aprendizajes por parte del estudiante. Una de las características de un docente metacognitivo es su capacidad de ser crítico y reflexivo frente a su actuar pedagógico. Debe conocer, así mismo, cómo aprenden sus estudiantes el tema específico que enseña (Tamayo, 2007) para modificar o reestructurar sus planes con el fin de mejorar la comprensión de aquellos conceptos que podrán generar dificultades; por medio de la creación de espacios que posibilitan la toma de consciencia de los estudiantes sobre sus procesos de aprendizaje; además debe brindar información explícita y oportuna respecto a los mecanismos o estrategias que permiten el control o la regulación de sus procesos comprobar la efectividad de estas estrategias en la comprensión de un tema.

Sintetizando lo anterior Campanario (et. al, 1998) establecen “La mayor parte de la responsabilidad en el desarrollo de las capacidades metacognitivas recae en la actuación de los profesores en el aula”. (p.41).

## *La Metacognición en el aprendizaje de las ciencias*

La necesidad de integrar la metacognición en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, se derivan según Campanario, Cuerva, Moya & otero, (1998); Campanario & Moya, (1999) de los problemas o dificultades que se generan durante el proceso de aprendizaje de las ciencias, estos autores plantean que un docente que desee enseñar ciencia incorporando la metacognición en el aula debe conocer: la influencia de las ideas previas o pre-concepciones de sus estudiantes frente al tema o concepto a aprender; los procesos que llevan a cabo los estudiantes mientras resuelven problemas en ciencias; las motivacionales y actitudes de los estudiantes frente al aprendizaje de las ciencias; y finalmente los métodos que permiten desarrollar habilidades metacognitivas en los estudiantes.

Como resultado del creciente interés por incorporar la metacognición en el aula de ciencias, Soto (2000, p.47) presenta las investigaciones más importantes sobre metacognición en ciencias: el proyecto META (Metacognitive Enhancing Teaching Activities) y el proyecto PEEL (Project to Enhance Effective Learning). Citamos entonces tomando como referencia la descripción propuesta del autor los principales aporte del proyecto META.

### Proyecto META

Llevado a cabo por Hennessey (1993) su propósito era desarrollar las habilidades metacognitivas de los estudiantes en los niveles básicos, con una duración de tres años, los objetivos del proyecto fueron:

- Iluminar la naturaleza de la interacción metacognitiva entre los estudiantes en niveles elementales.
- Describir el impacto que el desarrollo de habilidades metacognitivas tiene sobre la formación del conocimiento conceptual de los estudiantes.
- Esclarecer la naturaleza de la interacción metacognitiva entre estudiantes, y entre estudiantes y profesores.

El curso fue diseñado para seguir la interacción de los estudiantes en la clase y desarrollar paralelamente concepto en física de seis cohortes de estudiantes desde el grado primero al grado sexto, algunas de las preguntas que guiaron el estudio fueron: ¿En qué forma puede ser

promovida la metacognición, en las clases de ciencia?; ¿Cuál es la naturaleza de los procesos metacognitivos?; ¿Cuál es el rol de la metacognición en la promoción del cambio conceptual en las clases de ciencias de los niveles elementales?

Hennessey (citado por Soto 2001, p.48) introduce el elemento de la conciencia como un rasgo fundamental de la actividad metacognitiva, en este sentido la actividad metacognitiva estaría ligada con la habilidad para pensar sobre lo que se conoce y cómo se conoce.

### Proyecto PEEL

White (1999) presenta una serie de reflexiones en torno al proyecto PEEL señalando, las diversas condiciones que favorecen un aprendizaje de calidad de las ciencias. Desde sus inicios en 1985 el proyecto parte del objetivo de ayudar a los estudiantes a sentirse más motivados y capaces de dirigir y controlar su propio aprendizaje; los docente después de conocer los resultados de las investigaciones sobre Meta-Aprendizaje (término que se refiere al conocimiento que la persona tiene sobre su propio proceso de aprendizaje, a la conciencia del uso de dichos procesos y a su habilidad para dirigirlos) deciden modificar su propia practica. (p.5).

Dos propuestas didácticas se derivan con el fin de cumplir con tal objetivo: la primera plantea el aprendizaje de técnicas y habilidades de tipo general sin ninguna vinculación a un aprendizaje, la segunda propuesta asumida por Gunstone (1994) y White (1999) sostiene que: “los estudiantes aprenden a orientar su forma de aprender al mismo tiempo que aprenden ciencias” (p.5).

Revisaremos entonces, brevemente algunas de las condiciones que desde los resultados investigativos del PEEL favorecen un aprendizaje de calidad de las ciencias, el cual implicaría entonces, la relación y aplicación de los conocimientos a través de otros temas y a través de las diferentes actividades que se desarrollan dentro y fuera del aula de clase.

*Autonomía:* Para que el estudiante pueda comenzar a hacerse responsable de su propio aprendizaje, las decisiones sobre los tiempos, temas, procesos de aprendizaje e incluso la evaluación deben ser acordadas por ambos. Dar a conocer los objetivos y los valores del proceso de enseñanza y aprendizaje (Campanario, 2000; Lin, Schwartz & Hanato, 2005) se considera una estrategia que desarrolla la autonomía en el estudiante, al conocer lo que se desea aprender y por

consiguiente lo que se va a evaluar; el estudiante y el docente podrán reflexionar respecto a las metas y actividades diseñadas para la enseñanza y el aprendizaje de un tema determinado.

*Cooperación:* Los profesores que intervinieron en el PEEL aprendieron a apoyarse unos con otros, motivándose a probar nuevos métodos y discutir experiencias de trabajo con el de fin de motivar a los estudiantes a ser reflexivos sobre sus aprendizajes, a expresar sus ideas y creencias. Lin, Schwartz & Hanato (2005) señalan que uno de los problemas que enfrenta el docente al momento de incorporar la metacognición, es el rechazo hacia otras formas o maneras de hacer las cosas, tiende a rechazar las prácticas docentes de otros colegas, simplemente porque no desea analizar otras formas de explicar o abordar un tema determinado.

*Variación en los sistemas de evaluación:* El autor plantea que la enseñanza rutinaria está asociada a su vez con una evaluación rutinaria, por lo tanto es importante la diversidad de enseñanza como la variabilidad en los métodos de evaluación. Dentro de las actividades que White (1999) y otros autores Campanario (2000), Rickey & Stacy (2001); Parolo et al, (2004), consideran como una alternativa a los métodos de evaluación tradicional los mapas conceptuales, desarrollados inicialmente por Novak & Gowin, estos brindan información valiosa respecto a las relaciones y conexiones que el estudiante elabora frente a un concepto estudiado, se pueden usar también como un elemento diagnóstico que permite comparar las construcciones iniciales y finales de un estudiante con el fin de detectar los cambios asociados a los enlaces establecidos con los diferentes conceptos.

De la misma manera, las actividades Predecir-Observar-Explicar (POE) descritas como:

Una prueba de comprensión muy poderosa, adecuada al contenido de la ciencia; donde los estudiantes deben predecir el resultado de un cambio en una situación física y, sobre todo, razonar su predicción. A continuación observan el cambio, describen lo que ven y explican cualquier discrepancia que se haya observado entre la predicción y la observación (White, 1999, p.10).

Teniendo en cuenta lo antes señalado, a continuación se revisan algunas propuestas metodológicas que desde la didáctica, direccionan y justifican el estudio de la metacognición,

abordando enfoques constructivistas para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias; estas propuestas a su vez, guiaron el diseño y la aplicación de un modelo de instrucción para la enseñanza y el aprendizaje de la química orgánica, específicamente de conceptos en estereoquímica. Soto (2001) resalta: “Indudablemente, una línea de investigación en enseñanza de las ciencias cuya importancia ha venido en aumento en los últimos años es la relacionada con la metacognición y la educación en ciencias” (p.27).

### ***2.2.6 Modelo de Instrucción metacognitivo en la Enseñanza y el Aprendizaje de la Estereoquímica.***

Con el objetivo de incorporar la reflexión metacognitiva en el aprendizaje de conceptos científicos bajo un modelo constructivista, y siguiendo las posturas de Gunstone (1994) y White (1999), los estudiantes aprenden a orientar su forma de aprender al mismo tiempo que aprenden ciencias. A continuación presentamos los principales criterios teóricos y metodológicos que desde nuestro contexto, e interés investigativo orientaron el desarrollo de una Unidad Didáctica para el tema de estereoquímica.

Campanario (2000) presenta una serie de propuestas dirigidas a ayudar al docente a incorporar la metacognición en el aula; “Un primer dilema que debe afrontar el profesor interesado en desarrollar en sus alumnos el uso de estrategias metacognitivas es decidirse por un enfoque explícito o implícito” (p.27).

- Un enfoque explícito de instrucción: Implica que el desarrollo y el uso de las estrategias metacognitivas por parte de los estudiantes sea el objetivo principal.
- Un enfoque implícito de instrucción: El docente enseña y adecua el uso de las estrategias metacognitivas en los contenidos temáticos que se estudian.

Teniendo en cuenta los reducidos tiempos destinados para la unidad de estereoquímica, elegimos un enfoque de instrucción implícito; durante la enseñanza del tema de estereoquímica se adoptaron actuaciones metacognitivas por parte del docente con la intención que los estudiantes se familiarizarán y conocieran el tipo de trabajo a desarrollar; siendo la primera vez que se

estudiaría el tema en un entorno metacognitivo, sumando a lo anterior, no basta con elegir un tipo de enfoque, es importante generar un ambiente de aula adecuado para la metacognición. Lin (2001, p.35:) considera un ambiente propicio para la metacognición si se tiene en cuenta:

- Proporcionar oportunidades frecuentes para que los estudiantes se auto-evalúen (Angulo & Jaramillo, 1997) y puedan explicar concretamente qué saben y qué no saben.
- Ayudar a los estudiantes a articular sus pensamientos y emociones a través de preguntas guiadas que les permitan explicar y justificar su pensamiento.

Por su parte Monereo (1995) considera que dentro de un modelo de adaptación metacognitiva se deberá:

- Enseñar a los estudiantes a conocerse mejor como "aprendices" desarrollando la toma de conciencia de frente a sus conocimientos, y sobre cómo son llevadas a cabo las acciones que interviene un proceso cognitivo.

Apoyándonos en los planteamientos expuestos por Brown & Sullivan (1987); Lin, (2001); Monereo, (1995, 2003) y Campanario, (2000) respecto a los elementos más importantes que debe tener en cuenta un docente para diseñar y crear ambientes que favorezcan la metacognición; presentamos a continuación los criterios seleccionados para el diseño y la aplicación de la Unidad Didáctica de estereoquímica:

- Generación de espacios de reflexión, donde el estudiante tome consciencia de sus conocimientos, mientras resuelve o se enfrenta a una meta o tarea escolar, el conocimiento de sí mismo como aprendiz le ayudará a identificar aquellos factores positivos o negativos que inciden en su desempeño.
- Brindar oportunidades frecuentes para que el estudiante pueda auto-evaluarse a través de preguntas guías o preguntas cortas para contestar por escrito, con la intención de que los estudiantes puedan justificar y explicar las acciones o procedimiento que está llevando a cabo durante el aprendizaje.

Otro aspecto de interés que involucra la metacognición y el aprendizaje de las ciencias, se relaciona con una actividad que caracteriza el currículo de ciencias en la educación superior y media “la resolución de problemas”, siendo esta una actividad predominante en el aprendizaje de las ciencias y específicamente en el aprendizaje de la química; los profesores hacen uso de este recurso de manera extensiva, desconociendo en la mayoría de las ocasiones la forma cómo los estudiantes resuelve y comprenden estos problemas ligados a las teorías científicas estudiadas.

Hobden (citado por Solaz-Portolés, et. al, 2011) señala que “los problemas planteados en las aulas suelen ser mayoritariamente de carácter algorítmico, esto es, mera aplicación rutinaria de reglas, leyes y fórmulas, donde se exige solamente resolver problemas similares a los ya resueltos” (p.788).

Rickey & Stacy (2001) proveen un ejemplo para ilustrar cómo la metacognición juega un papel importante en la resolución de un problema en química, al comparar los procesos de resolución de una estudiante graduada y una pareja de novatas en química. Los autores concluyen:

Las insuficientes habilidades metacognitivas causaron que la estudiante graduada se equivocará resolviendo un problema en el que ella claramente poseía el conocimiento del dominio relevante”, los resultados obtenidos muestran que promoviendo la metacognición como uno de los aspectos de pensamiento científico, resulta tan importante como enfatizar el contenido de los problemas químicos” (Rickey & Stacy, 2001, p.917)

Con el propósito, de crear un ambiente que promueva la reflexión metacognitiva en los estudiantes cuando aprenden los temas de la estereoquímica, se diseñó una serie de Preguntas Metacognitivas en el tema de Estereoquímica (PMEQ), estas preguntas cortas cumplen tres objetivos principales: brindarle al docente información respecto a: los procesos que llevan a cabo los estudiantes mientras aprenden un tema específico; favorecer la toma de conciencia del estudiante al reconocerse como aprendiz (cuando identifica los factores positivos y negativos que inciden en la adecuada solución de los ejercicios planteados), finalmente permiten identificar las habilidades viso-espaciales que intervienen en la solución exitosa o no-exitosa de los ejercicios en estereoquímica.

Los diferentes ejercicios propuestos para los cinco temas principales de la estereoquímica, según Lin, Schwartz & Hanato, (2005) se caracterizan por ser definidos, elemento característico de una instrucción metacognitiva exitosa; con el fin de alejarnos de las discusiones que se elevan entorno a lo que significa un problema, estos “ejercicios definidos” poseen una solución óptima y conocida, permitiéndole al estudiante enfocarse más en conocer y regular los procesos que lleva a cabo mientras los resuelve. A su vez, Schunk (2000) propone que estas metas o ejercicios deben tener un componente de especificidad, para que el estudiante tenga ideas claras sobre lo que debe hacer y así podrá resolverlos con mayor facilidad y autor-regula su proceso.

## ***2.3 Inteligencia Espacial***

### ***2.3.1 Antecedentes de la Investigación***

Las investigaciones que se describen remarcan la relación existente entre las habilidades espaciales la enseñanza y en el aprendizaje de la química, además de su incidencia en el desempeño de tareas con alto contenido espacial; siendo nuestro interés investigativo el aprendizaje de conceptos en estereoquímica, analizamos investigaciones respecto a las dificultades de los estudiantes cuando aprenden conceptos al nivel simbólico (interpretación y transformación de diferentes representaciones moleculares) y microscópico (conocimiento y comprensión de las características tridimensionales de las partículas básicas de la química) de la química. Citamos finalmente aquellas propuestas metodológicas que brindan información respecto a las herramientas o recursos que pueden ser usados en el aula, para promover y mejorar las habilidades viso-espaciales de los estudiantes durante la enseñanza y el aprendizaje de la química orgánica y en particular de la estereoquímica.

Harle & Towns (2011) en su review, presentan la relación entre las habilidades espaciales y la química, y sus implicaciones para la enseñanza; resaltan que el discurso entre docente y estudiante durante la enseñanza y el aprendizaje de la química está mediado por el uso de representaciones de moléculas y de reacciones químicas, donde el aspecto visual y las habilidades espaciales desempeñan un importante papel; señalan “Uno de los problemas que

enfrentan los estudiantes cuando toman un curso que requiere el uso de habilidades espaciales es que la instrucción no les ayuda a aprender cómo usar las de habilidades viso-espaciales dominio específicas para resolver problemas” (Harle & Towns 2011, p.257). El reto de los profesores es ayudar a los estudiantes a ser competentes en estas habilidades dominio-específicas.

En congruencia con lo anterior y teniendo en cuenta el papel de las habilidades viso-espaciales en el aprendizaje de la química orgánica, las autoras proponen algunos elementos que pueden ayudar a los docentes a potencializar estas habilidades en sus estudiantes: a) promover la visualización de representaciones moleculares en 2D y 3D, para que reconozcan el lenguaje espacial de la química, b) ofrecer una explicación directa respecto a la construcción y transformación de diversas representaciones moleculares, c) proporcionar recursos de visualización molecular (software de modelado o modelos concretos).

Pribyl & Bodner (1987) estudiaron la relación entre las habilidades espaciales y el desempeño de los estudiantes en química orgánica, para determinar la habilidad de los estudiantes de construir y manipular imágenes mentales tridimensionales a partir de dibujos y representaciones en 2D y 3D y cómo inciden en su desempeño; se aplicaron entonces 2 test de Habilidades espaciales: el (Purdue Visualization of Rotations test) y el (Find-A-Shape-Puzzle), los puntajes de ambos test se convirtieron en puntuaciones estándar, y el puntaje total espacial (TSPAT) fue calculado y clasificado según sus habilidades (Alta-Media-Baja).

Concluyen los autores que existe una correlación entre las habilidades espaciales y el desempeño en tareas espaciales en química orgánica; siendo más significativa esta relación en la resolución de problemas, especialmente en aquellas preguntas donde se requería que los estudiantes manipularan mentalmente una representación 2D de una molécula, por último destaca que los estudiantes de química orgánica con altas habilidades espaciales realizan adecuadas representaciones moleculares de fórmulas químicas en la resolución de problemas.

Po su parte, Bodner & Domin (2000) estudiaron el rol de las representaciones en la solución de problemas en química con diversos estudiantes universitarios, por medio de entrevistas (informales y estructuradas) y notas de campo encontraron que la reducida

información que proporciona una representación dificulta la solución del problema, lo cual se relaciona con uno de los hallazgos más importantes respecto a la diferencia que existe entre un solucionador de problemas exitoso y uno no exitoso,

La disimilitud entre estos estudiantes se debe a su capacidad para cambiar de un sistema de representación a otro, donde los estudiantes exitosos tradujeron el dibujo de línea del material de partida, en un dibujo que muestra las posiciones de todos los átomos de hidrógeno en el compuesto. Alentar a los estudiantes a utilizar diferentes representaciones en la resolución de un problema, por tanto, podría simplemente ser una manera de ayudarles a reconocer qué información es importante en la generación de la respuesta (Bodner & Domin 2001, p.25, 27).

Respecto a la importancia de los modelos y su contribución a la visualización y comprensión de conceptos químicos al nivel microscópico, Barnea & Dori (1996) evalúan el efecto de usar un modelo molecular computarizado en la construcción de conceptos sobre estructura química y enlace químico, discuten que “Las dificultades que experimentan los estudiantes se deben a la abstracción de las inobservables partículas básicas de la química” (p.629). Con el propósito de mejorar los logros y desempeños de los estudiantes, los autores incorporaron el uso de un modelo molecular computarizado y el uso de modelos concretos mientras se estudia el enlace y la estructura molecular, el grupo control sólo uso los modelos concretos durante las clases, el grupo experimental por el contrario uso ambos modelos.

Dentro de sus hallazgos se destaca los beneficios de usar un modelo molecular computarizado: (1) visualización de diferentes representaciones de moléculas y (2) la construcción de moléculas más grandes y complejas. Adicionalmente los resultados demostraron que el puntaje del grupo experimental fue más alto que el del grupo control, lo cual es atribuido a una mejor comprensión del tema de enlace químico, mejorando la percepción tridimensional de las estructuras moleculares; concluyen que “la experiencia de trabajar con diferentes modelos moleculares mejora la percepción de varias formas geométricas y la relación con la formula molecular y la estructura geométrica” (Barnea & Dori 1996, p.635).

En las siguientes páginas se estudia la Inteligencia Espacial, se inicia con un breve análisis entorno a las concepciones tradicionales y actuales sobre inteligencia, lo cual permite reconocer la existencia de otras inteligencias como la espacial, posteriormente citamos los

fundamentos históricos que dieron origen al estudio de las habilidades espaciales fruto de la aplicación de diversos test. Siendo nuestro interés la enseñanza y el aprendizaje de conceptos en química orgánica, abordamos el concepto de pensamiento viso-espacial y su relación con la química, así mismo se analiza el papel de las habilidades viso-espaciales en la enseñanza y aprendizaje de la química a nivel simbólico y microscópico (donde ubicamos el aprendizaje de la estereoquímica), finalmente se expone un modelo de pensamiento viso-espacial para la enseñanza de la estereoquímica.

### ***2.3.2 El concepto***

La inteligencia ha sido tradicionalmente considerada como una capacidad general, medible y clasificadora de los sujetos según sus características intelectuales; valorándolas como astutas, tontas o brillantes. Las pruebas psicométricas tuvieron un gran impacto en los primeros intentos por comprender y definir la inteligencia, siendo exitosas en la predicción del éxito o fracaso académico; sin embargo, las críticas a estas pruebas se elevaron como consecuencia del desconocimiento del entorno social de los individuos. Gardner en su libro estructuras de la mente (1983, 2001) desarrolla dos tendencias nuevas, alejadas de las tradicionales concepciones de inteligencia y ofrece una perspectiva más humanista, social y del contexto:

- Contextualización: plantea la importancia de tener en cuenta el contexto en el que crece y se desarrolla un sujeto, por lo tanto nuestra inteligencia no es independiente de nuestro contexto, Gardner (2001) señala que “hoy muchos científicos consideran la inteligencia como el resultado de una interacción, por una parte, de ciertas inclinaciones y potencialidades y, por otra, de las oportunidades y limitaciones que caracterizan un ambiente cultural determinado” (p.6).
- Distribución: A diferencia de la contextualización la “visión distribuida” analiza las relaciones que establece una persona con las cosas/objetos en un ambiente particular, nuestra inteligencia abarca las herramientas (lápiz, papel, computadora, etc.), los formatos que empleamos para almacenar y recuperar la información y las relaciones que establecemos con los otros para comprenderla y comunicarla.

Define entonces la inteligencia como una “capacidad de resolver problemas, o de crear productos, que sean valiosos en uno o más ambientes culturales” (Gardner, 2001: 5). Esta breve revisión de las concepciones iniciales sobre inteligencia, se realiza con la intención de abrir un panorama diferente para su comprensión; donde se reconoce las diversas relaciones que se establecen entre: el contexto donde un sujeto se desenvuelve, y las habilidades o capacidades que desarrolla; las interacciones que establece con otras personas y las herramientas o recursos que emplea para incorporar, transformar y organizar la constante información que recibe de diferentes fuentes.

Así mismo, este panorama brinda la posibilidad de re-pensar los procesos de enseñanza y aprendizaje, reconociendo que los estudiantes poseen diversas habilidades o capacidades que varían entre ellos, que a su vez pueden ser potencializadas con el fin de mejorar los desempeños académicos, y las concepciones de estudiantes y docentes respecto a lo que significa ser o no inteligente. Teniendo en cuenta lo antes planteado Gardner argumenta que en la actualidad un número creciente de investigadores consideran que “(...) existe una multitud de inteligencias bastante independientes entre sí; y que cada inteligencia tiene sus propias ventajas y limitaciones”. (2001, p.6).

### ***2.3.3 Inteligencia Espacial***

Aunque existen diversas definiciones usadas para describir la inteligencia espacial, aun no se ha establecido un término preciso, puede ser identificada como: cognición espacial, inteligencia espacial, razonamiento espacial (Pittalis, Mousoulides & Chistou, 2007) o pensamiento espacial Bednarz & Lee (2011). Reconociendo entonces la ausencia de un término establecido, preferimos usar el término *inteligencia espacial*.

Gardner (2001) define la inteligencia espacial como “las capacidades para percibir con exactitud el mundo visual, para realizar transformaciones y modificaciones a las percepciones iniciales propias, y para recrear aspectos de la experiencia visual propia, incluso en ausencia de estímulos físicos” (p.141).

Por su parte Lohman (1996) define la inteligencia espacial como:

La capacidad de generar, mantener, recuperar, y transformar las imágenes visuales bien estructuradas. No es una construcción unitaria. Hay en efecto varias habilidades espaciales, cada una haciendo hincapié en diferentes aspectos del proceso de generación, almacenamiento, recuperación, y transformación de la imagen”. (p.3)

Podemos establecer, de las anteriores definiciones sobre inteligencia espacial, cuatro componentes importantes: Percibir, Identificar, Transformar y Recrear; desde nuestro interés investigativo estos componentes orientan el estudio respecto a la relación que existe entre la inteligencia espacial y el aprendizaje de conceptos en estereoquímica.

### ***2.3.4 Componentes de la inteligencia espacial***

Antes de exponer los factores o componentes asociados con la inteligencia espacial, Gardner (2001) cita a Thurstone & a Guilford, como los primeros psicólogos que cuestionaron la visión de inteligencia como una capacidad general y plantearon la existencia de varios factores o componentes de la inteligencia, lejos de la premisa tradicional sobre inteligencia, abordamos el estudio de la inteligencia espacial teniendo en cuenta los componentes que desde la literatura se consideran claves en el desempeño de tareas que se caracterizan por un alto contenido espacial y visual. Con el fin de identificar los factores asociados a la inteligencia espacial, Harle & Towns (2011) realizan un interesante rastreo sobre sus fundamentos históricos y además describen los principales Test que han sido usados para estudiarlas, a continuación tomamos como referencia la descripción elaborada por estas autoras.

#### *Fundamentos históricos*

Como área de investigación en la inteligencia comenzó a crecer en el 1800, desde 1930 hasta la década de 1970, la investigación se centró en la definición de los factores mayores y menores de la capacidad espacial (Guilford, J. P.; Lacy, J.I, 1947; Cattell, R. B, 1971). Sin embargo esta era de investigación dio lugar a una multitud de factores y de terminologías que no han ofrecido una taxonomía clara de las habilidades espaciales.

- Guilford & Lacy (1947) identificaron dos factores importantes, la visualización espacial y orientación espacial, en la cual la primera se describe incluyendo "la rotación de objetos representados"
- Thurstone (1950) definió, el factor *SI* a través de las rotaciones, capacidad de identificar como se ve un objeto desde diferentes ángulos tales como: vista frontal, superior y lateral.
- Lohman's (1979) en su meta-análisis, define las relaciones espaciales como un factor contenido en la rotación de un objeto.
- Tversky (2004) señala que uno de los principales investigadores que estudiaron el razonamiento espacial fue Roger Shepard (ver Finke & Shepard, 1986; Shepard & Cooper, 1982; Shepard & Podgorny, 1978) quien trató de establecer un paralelismo entre la percepción visual y las imágenes visuales, bajo dos principios: las representaciones mentales y las operaciones (transformaciones de las representaciones).
- Carroll (1993) en su meta-análisis identifica cinco factores importantes, incluyendo las relaciones espaciales, el cual corresponde a la rotación de los objetos; por lo tanto, un factor perteneciente a la transición de la rotación es la visualización espacial, a la rotación acelerada, y de nuevo a las relaciones espaciales.

Finalmente Lohman (1979) se propuso determinar qué factores pueden ser identificados como grandes dimensiones de la capacidad espacial, encontró factores principales y secundarios algunos de los cuales fueron identificados en los estudios originales. Tres principales factores surgieron repetidamente y se describen a continuación:

- *Relaciones espaciales*: Este factor se compone de las tareas que requieren rotación mental de un objeto ya sea en el plano (2-D) o fuera del plano (3-D).
- *Orientación espacial*: Este factor implica la capacidad de imaginar cómo un objeto o matriz se vería desde una perspectiva diferente mediante una reorientación del observador, estas tareas son difíciles de diseñar porque muchos pueden ser resueltos por rotación en vez de alterar perspectiva.

- *Visualización:* Este factor está compuesto de tareas que tienen una figura espacial componentes tales como movimiento o desplazamiento de partes de la figura, y son más complejas que las tareas de relaciones o las de orientación.

Por su parte Thurstone (citado por Gardner 2001, p.142) consideraba que la habilidad espacial era uno de sus siete factores primordiales del intelecto, dividió entonces la habilidad espacial en tres componentes:

- La habilidad para reconocer la identidad de un objeto cuando se ve desde ángulos distintos.
- La habilidad de imaginar el movimiento o desplazamiento interno entre las partes de una configuración.
- La habilidad para pensar en las relaciones espaciales en que la orientación corporal del observador es parte esencial del problema.

*Test empleados para medir las habilidades espaciales.*

Los siguientes test son usados para evaluar los tres factores comúnmente estudiados dentro de las habilidades espaciales: *relaciones espaciales, orientaciones, y visualizaciones:*

- Las *relaciones espaciales* pueden ser medidas con una variedad de test de rotación, en química la prueba de Purdue Visualización y Rotación (PVROT) de Bodner & Guay es usada con frecuencia; la tarea consiste en discernir cómo el bloque de la primera fila es rotado, entonces se realiza la misma rotación en el ítem del test y se elige de las respuestas su apariencia, los sujetos que tomaron la prueba no pueden hacer ninguna marca en el papel para ayudarse a rastrear la rotación del bloque, deben girar el bloque mentalmente.

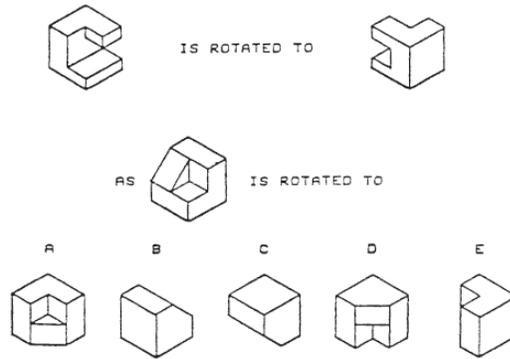


Figura 2 Prueba de Purdue Visualización y rotación (PVROT) (ver Bodner & Guay, 1997)

Fuera del campo de la química, se encuentra la Prueba de Rotación Mental de Vandenberg, el test consiste en una serie de items donde se representa la figura de un bloque, cuando se gira a lo largo de uno o dos ejes; la tarea es elegir de las cuatro respuestas las dos que son idénticas a la disposición del bloque dado.

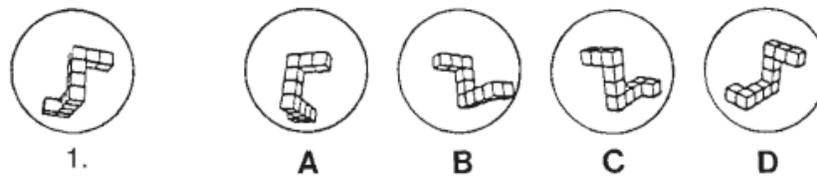


Figura 3. Test de Vandenburg y Kuse (MRT) (ver Vandenburg & Kuse, 1978).

- Las pruebas sobre *orientación espacial* fueron criticadas originalmente porque los sujetos podían resolverlo simplemente rotando el objeto, Guay desarrolló y validó la prueba Purdue Visualización Espacial (TSVP) que consiste en el desarrollo (visualización), rotación y vista (orientación) de secciones; la sección de la orientación-visual requiere que los sujetos se imaginen viendo un objeto desde diferentes perspectivas, desde una esquina diferente del cubo transparente.

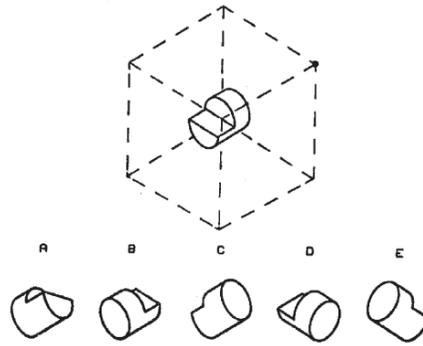


Figura 4. The Purdue Spatial Visualization Test de Guay (TSVP) (ver Guay, 1977)

- Las pruebas de *visualización espacial* son más complejas que las tareas de rotación u orientación. Guay, (1977) desarrollo Purdue Spatial Visualization Test, la tarea es visualizar el plegado de un objeto tridimensional, la imagen inicial muestra el interior del objeto y la porción sombreada indica la parte inferior del objeto; para esta tarea, el objetivo es imaginar cómo se ve el objeto plegado en tres dimensiones, para luego elegir de entre los cinco objetos el plegado.

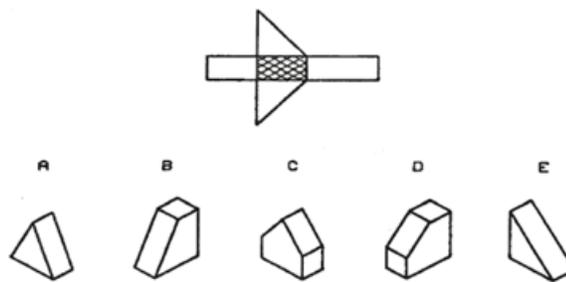


Figura 5. Desarrollo espacial (ver Guay, 1977)

En concordancia con lo anterior, podemos entonces identificar los tres componentes principales que han sido asociados con la inteligencia espacial: la visualización, la orientación espacial y las relaciones espaciales; de igual manera Bednarz & Lee (2011) sostienen que “la capacidad espacial ha sido ampliamente estudiada, sobre todo por los psicólogos cognitivos, quienes están de acuerdo que dos dimensiones: la visualización espacial y la orientación espacial,

comprenden esta capacidad” (p.104), destacan además un tercer elemento que involucra la comprensión de las relaciones espaciales.

Concluyen las autoras que en la década de 1960, las investigaciones sobre las habilidades espaciales se concentraron en comprender si pueden ser desarrolladas, y en estudiar las diferencias entre hombres y mujeres; así mismo, plantean que existe un debate actual respecto a los factores mayores y menores de las habilidades espaciales. Cabe resaltar que no es nuestro interés abordar tal discusión; por lo tanto, nos concentramos en identificar desde la literatura las habilidades espaciales claves para el aprendizaje de la química orgánica, específicamente aquellas que inciden en el aprendizaje y en la resolución de ejercicios en estereoquímica.

#### ***2.4 Pensamiento o Inteligencia viso-espacial***

Como hemos visto dentro del estudio de las habilidades que hacen parte de la inteligencia espacial, cuatro elementos importantes pueden ser identificados desde las definiciones propuestas por Gardner (2001) y por Lohman (1993), relacionamos estos elementos desde la química con la capacidad para: <sup>3</sup>*Percibir* (Percepción de, Ver) las estructuras y características tridimensionales de las moléculas; *identificar* o reconocer las diferentes representaciones moleculares y la información que codifican; *transformar* (pasar de una representación molecular o realizar rotaciones mentales de moléculas); y *recrear* estas transformaciones (dibujo, diagramas, etcétera.). Como hemos expuesto, estos elementos se relacionan con las diferentes tareas que hacen parte de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la estereoquímica, donde predomina el componente visual y espacial.

Mathewson (1998) define:

El pensamiento viso-espacial incluye la visión- uso de los ojos para identificar, localizar y pensar sobre los objetos y sobre nosotros mismos en el mundo, la formación, inspección, transformación y mantenimiento de las imágenes en la mente en ausencia de un estímulo visual. (p.33).

Este autor considera que una crítica a la práctica actual en educación, se relaciona con la poca o nula atención que se otorga al papel de las imágenes y de las habilidades viso-espaciales

---

<sup>3</sup> Oxford diccionario online.

en el aprendizaje, sugiere además que se debe crear un equilibrio entre el uso del lenguaje y el uso de las imágenes por parte de los estudiantes.

### *Las imágenes y la ciencia*

*Una imagen vale más que mil palabras*  
*Proverbio chino.*

Hoy diversos autores reconocen el importante papel que cumplen las imágenes en el pensamiento humano y así mismo en el desarrollo de teorías científicas (Gardner, 2001; Thagard, 2008; Asimov, 2010). En este apartado queremos destacar el valor de las imágenes y su contribución a la construcción de conocimiento científico y por consiguiente a la comunicación de conceptos, Gardner (2001) cita algunos ejemplos sobre el valor de las imágenes en la generación de conocimiento científico, como la visión de Darwin del "árbol de la vida", o la visión de John Dalton del átomo como un pequeñísimo sistema solar; así mismo, Mathewson (1998) cita por ejemplo que el inventor Nikola Tesla fue capaz de visualizar todo los modelos de trabajo de los dispositivos en su cabeza. Albert Einstein utilizó "experimentos mentales" altamente visuales para describir su ideas y su estilo mental como "Juego combinatorio" con imágenes.

Siendo nuestro interés la química, Asimov (2010, p.140) provee una excelente descripción de cómo el químico Kekulé pensó que las cadenas de carbono tienen la posibilidad de formar anillos, describe el autor que un día en 1865 el mismo Kekulé, medio dormido en un ómnibus, le pareció ver átomos ejecutando una danza; de pronto, la cola de una cadena se unió a su cabeza y formó un anillo circular, luego este químico presentó una estructura cíclica para el benceno, cuya aceptación ha perdurado. El descubrimiento de la doble hélice de ADN ha sido el más grande descubrimiento del siglo XX, J. Watson y F. Crick desconocían la disposición espacial que adoptaban las Purinas y Pirimidinas respectivamente en la hélice. Este problema estereoquímico fue resuelto, mientras Watson imaginaba como se disponían estas moléculas en el espacio, dibujándolas primero en una cartulina plana; posteriormente la construcción de un modelo

tridimensional de la doble hélice, les permitió visualizar y deducir la ubicación correcta las Purinas y Pirimidinas.

Thagard (2008) plantea “existen numerosas evidencias computacionales que permiten afirmar que la mente utiliza tanto las palabras como las imágenes para pensar” (p.154) y que justamente las imágenes visuales han atraído la atención de los investigadores, resalta el valor de las imágenes visuales y mentales para el aprendizaje.

Rudolf Arnheim (citado por Gardner, 2001) afirma que “las operaciones más importantes del pensamiento provienen en forma directa de nuestra percepción del mundo, en que la visión sirve como un sistema sensorial por excelencia que apuntala y constituye nuestros procesos cognoscitivos” (p.143). Lo anterior provee información valiosa respecto a la importancia que tienen las imágenes mentales y visuales, dentro de los procesos de aprendizaje, por lo tanto es conveniente incorporar el uso de recursos visuales dentro de las aulas de ciencias, ante esto Mathewson (1998) considera que “Si la cognición viso-espacial es fundamental en la ciencia, debe ser importante para el éxito de la enseñanza de la ciencia.” (p.41).

### *¿Cómo se desarrolla el pensamiento viso-espacial?*

Todos los objetos, formas, elementos y materiales con los cuales interactuamos diariamente son tridimensionales, esta característica predominante enmarca la mayoría de actividades que realizamos; estas interacciones con los diferentes objetos de nuestro medio promueven el desarrollo y fortalecimiento de las habilidades viso-espaciales; las cuales serán determinantes en el fracaso o éxito académico, debido a que ciertas disciplinas científicas requieren un dominio espacial. El conocimiento sobre el espacio comienza en los sujetos, desde la exploración del entorno por medio de los sentidos; la manipulación, percepción y el reconocimiento de los objetos y formas tridimensionales (González, 2009), además los desplazamientos y movimientos que realizamos constantemente hacen parte de las habilidades espaciales necesarias para ubicarnos en un espacio o entorno cotidiano. A su vez Mathewson (1998) considera que “El pensamiento viso-espacial se desarrolla desde el nacimiento, junto con

el lenguaje y otras habilidades especializadas, a través de interacciones entre las capacidades inherentes y las experiencias” (p.33).

#### ***2.4.1 ¿Cómo se relaciona el pensamiento viso-espacial en la enseñanza y en el aprendizaje de la química?***

Teniendo en cuenta la naturaleza abstracta y visual (Wu & Shah, 2004; Gilbert, 2007; Harle & Towns, 2011) de la química, donde el estudio de las partículas básicas (átomos y moléculas) no se hace de manera directa; esta ciencia y en especial los químicos han empleado una multiplicidad de representaciones (formulas moleculares, ecuaciones químicas, modelos de moléculas en 2D y 3D) formatos y modelos visuales (animaciones, modelos de visualización molecular, representaciones y estructuras moleculares, etcétera.) para conocer, describir y comunicar el comportamiento dinámico de las partículas subatómicas y su relación con los comportamientos físicos apreciables, los cuales son llevados a una interpretación simbólica que brinda información respecto a las entidades químicas que participan en un fenómeno químico particular.

Pribyl & Bodner (1987, p.230) también destacan la particularidad de los textos de química orgánica, los cuales poseen una gran variedad de dibujos y representaciones en 2D y 3D. Una primera aproximación a la relación que se establece entre las habilidades espaciales y los procesos de enseñanza de la química, se deriva de los diversos formatos visuales usados para comunicar, comprender e interpretar diversos fenómenos químicos.

Es importante destacar que las habilidades espaciales han sido consideradas importantes para el desempeño en química, algunos autores destacan su importancia en áreas como la ingeniería (Sorby, 1999), la geometría (Pittalis, Mousoulides & Chistou, 2007) e incluso en la geografía (Bednarz & Lee, 2011).

Siendo uno de nuestros objetivos investigativos identificar qué habilidades viso-espaciales intervienen en el aprendizaje y en la solución de ejercicios en química orgánica y particularmente en el tema de estereoquímica, hemos tomado como referencia el estudio desarrollado por Wu &

Shah (2004) respecto al papel que cumple la cognición visio-espacial entorno a tres aspectos claves: a) estudios correlacionales sobre habilidades espaciales y el aprendizaje de la química, b) los errores conceptuales y las dificultades de los estudiantes para comprender las representaciones visuales y c) las herramientas de visualización que han sido diseñadas para ayudar a superar estas limitaciones.

*a) Estudios correlacionales:* Los hallazgos de los estudios correlacionales señalan que la resolución de problemas en química requieren de habilidades visio-espaciales, especialmente en aquellos problemas que se caracterizan por el uso extenso de representaciones visuales y simbólicas tales como: estructuras químicas, fórmulas y ecuaciones. Lo anterior respalda las conclusiones de Bodner & Pribyl (1987) respecto a la correlación entre las habilidades espaciales y el desempeño en tareas espaciales en química orgánica, siendo más significativa esta relación en la resolución de problemas como (manipulación mentalmente de una representación 2D de una molécula, completar una reacción o esbozar una síntesis paso a paso). Por último destacan que los estudiantes de química orgánica, con altas habilidades espaciales realizan adecuadas representaciones moleculares de fórmulas químicas en la resolución de problemas.

*b) Dificultades en la comprensión y en la interpretación de las representaciones:* Wu & Shah (2004) encontraron en su estudio tres grandes concepciones alternativas, derivadas de la comprensión e interpretación de las representaciones: (1) representar los conceptos químicos a nivel macroscópico antes que a nivel microscópico o simbólico, (2) comprender las representaciones visuales al nivel macroscópico y por medio de características superficiales y (3) interpretar las reacciones químicas como un proceso estático. Estas dificultades se relacionan con los tres niveles de representación de la química, Gilbert (2007) expresa que para el caso particular de la química, la completa comprensión de un fenómeno químico requiere de la habilidad para moverse en sus tres niveles.

#### *Niveles de representación en química*

A continuación describiremos brevemente los tres niveles de representación en química, descritos por (Gilbert, 2007; Gilbert & Treagust, 2009).

- *Nivel Macroscópico:* Consiste en las representaciones de las propiedades empíricas de los líquidos, sólidos, coloides, gases y aerosoles. Esto se relaciona con las propiedades que son perceptibles en el laboratorio de química (masa, densidad, concentración, PH, etcétera.) o en experiencias de la vida cotidiana.
- *Nivel Microscópico:* Se conoce por medio de la representación inferida de la naturaleza de las entidades químicas (átomos, iones, o moléculas) y las relaciones entre ellas, estas entidades pueden ser representadas por medio de modelos concretos (de palos y bolas), de software de visualización molecular, o de diagramas y gráficos en 2D.
- *Nivel Simbólico:* Involucra la asignación de símbolos para representar: los átomos de un elemento (presentes en una molécula, compuesto, fórmula o reacción química). Este nivel está representado entonces, por símbolos, números, fórmulas, ecuaciones y estructuras (Wu, Krajcik & Soloway, 2001)

En virtud de lo expuesto anteriormente, ubicamos la enseñanza y por consiguiente el aprendizaje de la estereoquímica, en el nivel simbólico y microscópico. Citamos a continuación, algunas investigaciones que identifican las dificultades de los estudiantes durante el aprendizaje de conceptos al nivel simbólico y microscópico.

*Dificultad al comprender las representaciones relacionadas con el nivel simbólico y Microscópico*

Bucat & Mocerino (2009) en su estudio sobre el aprendizaje al nivel sub-micro de la química, señalan que los estudiantes presentan dificultades en tareas que involucran la interpretación de una representación 2D en una imagen 3D, señalan la necesidad de que tanto los instructores como los libros de texto expliquen las convenciones y estilos de las representaciones moleculares, “sin un buen entendimiento de las representaciones moleculares los estudiantes no podrán visualizar las características espaciales de las estructuras de una molécula”. (Bucat & Mocerino 2009, p.11)

La competencia representacional (Kozma & Russell, 2005) se considera un requisito importante cuando se aprende química, sin embargo los estudiantes son visto como

incompetentes en la traducción de un tipo de diagrama o representación molecular; dentro de los diagramas que son usados por los químicos se encuentran la representación Fischer, Newman y el diagrama bidimensional de palos y bolas, Padalkar & Hegarty (2012) consideran que “el dominio de estos diagramas es un reto, debido a que utilizan diferentes convenciones para representar las tres dimensiones (disposición de los átomos en la molécula), en las dos dimensiones de la página impresa”.(p.2162). Sugieren el uso de modelos concretos, esta herramienta pedagógica es valiosa porque “representa la estructura 3D de la molécula directamente, y por lo tanto no depende de las convenciones para recordar cómo las tres dimensiones se representan en un diagrama de 2D” (Padalkar & Hegarty 2012, p.2163).

Sintetizando lo anterior, Kozma & Russell (2005) definen que la competencia representacional es un término usado para “para describir un conjunto de habilidades y prácticas que permiten a una persona usar reflexivamente una variedad de representaciones o representaciones visuales, individualmente y en conjunto, para pensar, comunicar y actuar sobre los fenómenos químicos (...)” (p.13). Esta competencia puede potencializarse según las investigaciones revisadas anteriormente, a través del uso de modelos concretos en el aula, para mejorar las habilidades de visualización de los estudiantes, Gilbert (2010) considera que “la mayor característica de los modelos es que retiene las tresdimensiones de lo que está siendo representado” (p.8). Estos modelos, representan las características espaciales de las estructuras químicas (a nivel microscópico), las cuales se codifican en diferentes representaciones, diagramas o formulas moleculares (nivel simbólico).

c) *¿Pueden las herramientas de visualización ayudar al apoyo del pensamiento viso-espacial en el aprendizaje de la química?* Wu & Shah (2004) consideran “Dada la importancia del pensamiento viso-espacial en la química, las ayudas visuales y las herramientas de aprendizaje han obtenido mucha atención en investigación en los últimos años” (p.478). Consideran que una parte importante de la resolución de problemas en química, al nivel microscópico y simbólico se encuentra en la manipulación de los modelos 3D. Wu, Krajcik & Soloway (2000) argumenta que para ayudar a los estudiantes a entender la química en sus tres

niveles, los investigadores han desarrollado nuevos enfoques para la enseñanza de la química como: el uso de modelos concretos y el uso de herramientas tecnológicas.

### *¿Cuál es el valor de estos modelos de visualización?*

Nuestro interés recae también, en la importancia de la visualización en la educación en ciencias, Gilbert (2007) considera que “El desarrollo y el uso extendido de los sistemas basados en computadores para generar y visualizar modelos tienen su primer impacto en la química donde la visualización es vital” (p.11), para el caso específico de la química, la importancia de la visualización molecular (mediante el uso de herramientas computacionales o de modelos concretos), reside en la representación que ofrecen de las abstractas partículas básicas de la química (átomos, moléculas y enlaces).

### *La visualización del nivel microscópico de la química*

La importancia de la visualización molecular en el aprendizaje de conceptos al nivel simbólico y microscópico ha generado interés por parte de los investigadores; Wu, Krajcik & Soloway (2001) estudiaron cómo los estudiantes desarrollan su comprensión de las reacciones químicas por medio de una herramienta de visualización (E-Chem). Esta herramienta guiaba a los estudiantes en tres acciones: la construcción de moléculas, la visualización de moléculas (usando diferentes representaciones moleculares) en el análisis molecular, y su relación con las propiedades físicas.

Expresan que la herramienta (E-Chem) “mejora la capacidad de los estudiantes para realizar transformaciones entre modelos 2D y 3D, y esta capacidad podría ayudar a desarrollar una comprensión respecto a los isómeros y a la polaridad” (Wu, Krajcik & Soloway 2001, p.839). Discuten que los modelos de palos y bolas, ofrecen una experiencia concreta de los enlaces químicos de los átomos y las moléculas. Concluyen que la visualización de representaciones químicas requiere de vínculos cognitivos entre los componentes conceptuales

que implican un conocimiento considerable de los contenidos básicos, y los componentes visuales que involucran la decodificación e interpretación de símbolos y convenciones.

Así mismo, la importancia de emplear herramientas de visualización molecular para mejorar el aprendizaje de la química, y hacer frente a las dificultades de los estudiantes, fue estudiado por Dori & Barak (2000) investigaron el efecto de usar varios tipos de modelos moleculares (físicos y virtuales) en la comprensión de nuevos conceptos respecto a las estructuras espaciales de las moléculas.

Estos autores determinaron que el grupo experimental fue capaz de explicar conceptos de isomería y grupo funcional usando principalmente dibujos, modelos de bolas y palos y algunos modelos de space-filling; entendieron mejor el concepto de modelo y fueron capaces de aplicar transformaciones de representaciones en 2D y 3D; los estudiantes del grupo control no proporcionaron explicaciones respecto a sus respuestas y aquellos que lo hicieron usaron modelos bidimensionales similares a los usados por el docente. Recomiendan por último “incorporar una combinación de modelos físicos y virtuales en la enseñanza y el aprendizaje de la química como un medio para fomentar el aprendizaje significativo entendimiento de las estructuras espaciales de las moléculas”. (Dori & Barak 2000, p.191)

Podemos entonces inferir, que la manipulación de estos modelos potencializa las habilidades de visualización de los estudiantes, se promueve además la comprensión conceptual de las representaciones visuales (nivel simbólico) y su relación con las estructuras químicas (nivel microscópico); cuando los modelos concretos se utilizan en las clases de ciencias, los profesores deben animar a los estudiantes a enfocarse en el proceso de visualización (por ejemplo, rotar el modelo para verlo desde diferentes ángulos) y ayudarles a hacer conexiones cognitivas entre las representaciones moleculares y los conceptos (por ejemplo, la relación entre un átomo y su número de enlaces). (Wu & Shah, 2004, p. 478).

### *La estereoquímica y las habilidades viso-espaciales*

En virtud de lo propuesto anteriormente, ubicamos la enseñanza y por consiguiente el aprendizaje de la estereoquímica, en nivel simbólico y microscópico de la química, partiendo de

esta clasificación, durante la enseñanza de conceptos en estereoquímica se debe ayudar a los estudiantes a comprender e interpretar la información espacial que codifican las diferentes representaciones moleculares empleadas (Newman, Fischer, Silla, 2D, 3D, etcétera.). Así mismo se considera necesario usar diversas herramientas de visualización molecular (modelos físicos de palos y bolas y modelos virtuales) cuyo propósito es mejorar la percepción espacial de las estructuras espaciales de las partículas básicas de la química (átomos, moléculas, enlaces etc.) potencializando además las habilidades de visualización en los estudiantes.

La estereoquímica es una rama de la química que estudia la disposición espacial relativa de los átomos o grupos que componen las moléculas inorgánicas y orgánicas (estudio de la química en tres dimensiones); así mismo estudia cómo esta disposición define las propiedades químicas de ciertos compuestos: la reactividad de las moléculas, el acoplamiento enzimático, la estereoespecificidad y la efectividad de un medicamento. La estereoquímica brinda información importante sobre la composición, estructura y ubicación espacial de la molécula y sus sustituyentes; se ha convertido en un campo de gran interés para los químicos orgánicos debido a la importancia tanto biológica como farmacológica.

Para establecer y analizar la relación entre las habilidades viso-espaciales y el aprendizaje de la estereoquímica, describiremos a continuación las categorías que posibilitaron relacionar las habilidades viso-espaciales con el aprendizaje y desempeño de los estudiantes durante la solución de ejercicios en estereoquímica.

- Traducción y transformación de diferentes representaciones: Habilidad para traducir y transformar diferentes representaciones moleculares en 2D-3D (Wu, Krajcik, Soloway; 2001; Wu & Shah, 2004) en tareas que implican la interpretación y uso de diferentes representaciones moleculares (dimensional, 3D, Fischer, Newman, silla) 2D-3D -3D-2D
- Relaciones espaciales: Este factor se compone de tareas que requieren rotación mental de un objeto ya sea en el plano (2-D) o fuera del plano (3-D), Lohaman (citado por Harley & Towns, 2011). Se estudió la habilidad de los estudiantes para realizar giros de moléculas a diferentes ángulos y giros mentales (Interconversión de silla, configuración (R) (S)

- Visualización: Habilidad de construir y manipular imágenes mentales tridimensionales de dibujos bidimensionales y viceversa. (Bodner & Pribyl, 1987). Se estudió la habilidad para construir imágenes mentales de moléculas después de realizar giros mentales, o durante la traducción y transformación de representaciones.

#### ***2.4.2 Modelo de pensamiento viso-espacial para la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica.***

El objetivo de adoptar un enfoque de pensamiento viso-espacial se sustenta desde la necesidad de ayudar a superar las dificultades o errores conceptuales que presentan los estudiantes mientras aprenden y resuelven ejercicios relacionados principalmente con el nivel simbólico y microscópico de la química, autores como Dori & Barak, (2000) Wu, Krajcik, (2004); Gilbert, (2010); Bucat & Mocerino, (2009); Harle & Towns, (2011); Padalkar & Hegarty, (2012) sugieren la importancia de adoptar un enfoque de pensamiento viso-espacial que permita desarrollar las habilidades viso-espaciales de los estudiantes, necesarias para la resolución de ejercicios espaciales y no-espaciales, al incorporando diversas herramientas como: el uso de videos, animaciones, y modelos físicos; estas herramientas brindan la posibilidad de integrar la comprensión conceptual de las representaciones visuales y su relación con las características tridimensionales de las partículas básicas de la química.

El enfoque de pensamiento viso-espacial que adoptamos se apoya en dos principios: a) mejorar el conocimiento conceptual de la química mediante el uso de diferentes representaciones moleculares y b) mejorar las habilidades de visualización de los estudiantes al fomentar el uso de modelos concretos durante las clases de estereoquímica, también se usaron videos y animaciones, para que los estudiantes visualizaran la naturaleza dinámica de la química. A continuación presentamos los criterios que direccionaron el proceso de enseñanza de la estereoquímica, desde los dos principios previamente expuestos.

*a) Mejorar el conocimiento conceptual de la química mediante el uso de diferentes representaciones moleculares:* Resumimos los planteamientos propuestos por Wu & Shah (2004); Bucat & Mocerino, (2009); Harle & Towns, (2011) respecto a los elementos que debe

tener en cuenta un docente que desee mejorar la comprensión e interpretación de las diferentes representaciones simbólicas usadas durante la enseñanza de la química:

1. Hacer explícitas las relaciones espaciales de las representaciones que se usan en las clases, para promover las habilidades de visualización de los estudiantes de estructuras 2D-3D, así mismo se emplearon diversas representaciones moleculares (condensadas, semidesarrolladas, bidimensionales, tridimensionales, etcétera.), con el objetivo de que los estudiantes puedan comprender y relacionar la información visual con la conceptual.
2. Enseñar a los estudiantes las convenciones y estilos de las representaciones moleculares. Bucat & Mocerino (2009) plantean que “Sin un buen entendimiento de las representaciones moleculares los estudiante no podrán visualizar las características espaciales de una molécula” (p.11).
3. Proporcionar instrucción directa respecto a la transformación de diferentes representaciones moleculares (2D-3D).

*b) Mejorar las habilidades de visualización y la comprensión de las estructuras tridimensionales de las estructuras químicas, al fomentar el uso de modelos concretos durante las clases de estereoquímica:* Es importante mencionar que durante la intervención didáctica sólo se usaron los modelos concretos de moléculas; resumimos entonces la importancia de estos modelos desde lo propuesto por Dori & Barak, (2000); Wu & Shah, (2004); Gilbert, (2010); Padalkar & Hegarty, (2012)

4. El uso de modelos concretos mejora la comprensión de los conceptos vinculados a las representaciones visuales, así mismo facilitan la comprensión de las características espaciales de las moléculas.
5. Wu & Shah, (2004) consideran que las dificultades de los estudiantes de formar imágenes 3D de estructuras 2D, pueden superarse mediante la visualización,

manipulación e interacción con los modelos 3D, estos a su vez permiten comparar las diferencias y similitudes entre las representaciones en 2D y 3D.

6. Por último se destaca la importancia del uso de modelos físicos o concretos en el desarrollo de las habilidades de visualización y percepción de estructuras tridimensionales.

## CAPÍTULO 3

---

### **Marco Metodológico**

#### ***3.1. Introducción***

Este capítulo presenta el proceso y diseño metodológico llevado a cabo; se describe el tipo de investigación elegida, el diseño de la investigación, el contexto investigativo, las categorías de análisis y los instrumentos usados para la recolección de los datos; finalmente se explica el procedimiento que permitió codificar y analizar la información, mediante la triangulación de los datos, provenientes de diversas fuentes.

#### ***3.2. Metodología de la investigación***

##### *Fundamentos teóricos*

Esta investigación, establece la descripción y la comprensión como los criterios que a través del método de “estudio de casos” permitirán conocer en profundidad, la relación entre los procesos metacognitivos que llevan a cabo los estudiantes durante el aprendizaje y la resolución de ejercicios que requieren de determinadas habilidades viso-espaciales. Reconociendo las diversas interacciones que se tejen dentro del aula, esta investigación se denomina educativa:

Se hace sobre procesos y objetos que se llevan a cabo o se encuentran de puertas para adentro de la escuela, pero no sólo físicamente, sino que ocurren en el interior del proceso educativo, sean propios de lo pedagógico (pedagogía y didáctica) (...). (Briomes, 1996, p.21).

Esta investigación educativa, acoge el enfoque cualitativo, cuya principal fuente de información se deriva de las declaraciones escritas de los estudiantes, Taylor & Bogdan señalan que este tipo de investigación “(...) produce datos descriptivo: las propias palabras de las personas, habladas o escritas“(1986, p.3). En virtud de lo anterior Osses, Sánchez & Ibáñez, (2006) consideran que la investigación cualitativa posibilita estudiar de manera profunda la compleja realidad social.

### ***3.3. Contexto de la investigación***

Para conocer los procesos metacognitivos que llevan a cabo los estudiantes mientras resuelven ejercicios en estereoquímica, los cuales se caracterizan por su alto contenido visual-espacial; se desarrolló bajo un enfoque constructivista un modelo de instrucción metacognitivo para la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica. Se diseñaron 8 instrumentos de lápiz y papel y una entrevista estructurada; estos instrumentos incluían una serie de preguntas cortas (Campanario, 2000), que indagaban por las habilidades viso-espaciales de los estudiantes y paralelamente, por los procesos metacognitivos que llevaban a cabo mientras resolvían los ejercicios propuestos.

Durante la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos estudiados, los estudiantes tenían la posibilidad de manipular modelos físicos de moléculas (Organic Chemistry Molecular Model Kit<sup>4</sup>) con el propósito de potencializar la percepción y visualización tridimensional de las moléculas; teniendo en cuenta que los contenidos estudiados, hacen parte de un proceso de formación de nivel universitario, la recolección de datos se realizó en el programa de Licenciatura en Biología y Química de la Universidad de Caldas, con estudiantes de sexto semestre, quienes cursaban la asignatura de Química Orgánica I. Se realizaron 9 sesiones distribuidas en 5 semanas, con una intensidad horaria de 4 horas (semanales), la profesora titular guió, válido y acompañó el trabajo de la investigadora en el aula, quien fue la encargada de orientar, diseñar y aplicar la Unidad Didáctica para el tema de estereoquímica.

#### ***3.3.1 Unidad de Trabajo***

Esta investigación fue desarrollada con estudiantes de sexto semestre del programa de Licenciatura en Biología y Química de la Universidad de Caldas, es importante señalar que algunos de ellos eran repitentes de la asignatura, sus edades oscilan entre los 19 y 22 años.

---

<sup>4</sup> Mega Molecules, LLC/ISBN 978-0-9820869-1-9

### 3.4. Diseño Metodológico

El diseño metodológico de esta investigación cualitativa de corte *descriptivo-comprensivo* incorpora, dentro del proceso de aprendizaje: la metacognición y las habilidades viso-espaciales, a su vez, estas dos categorías direccionaron el diseño de la Unidad Didáctica y de los instrumentos necesarios para recolectar los datos. La figura 5, ilustra el diseño metodológico seguido en la investigación.

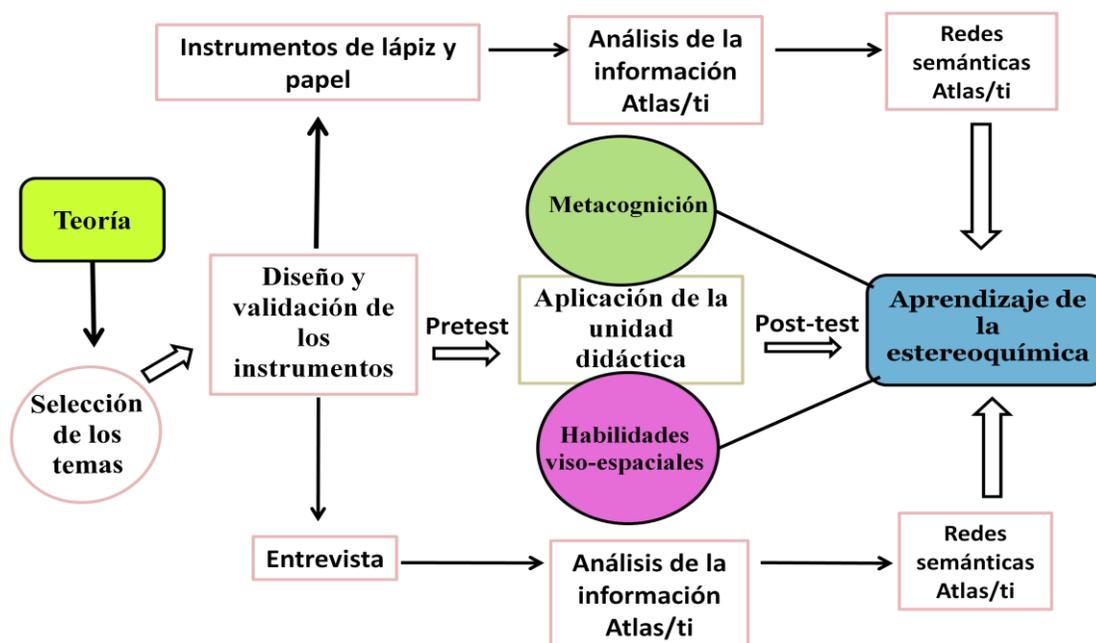


Figura 6 Diseño metodológico de la investigación

#### Fases del proceso metodológico

- Fase uno: Apoyados en la teoría y teniendo en cuenta el tema objeto de estudio (la estereoquímica), se seleccionaron en conjunto con la docente titular de la asignatura de Química Orgánica I, los sub- temas que debían integrar la Unidad didáctica.
- Fase dos: Se diseño y válido los diferentes instrumentos de lápiz y papel que posibilitarán la recolección de datos; inicialmente se aplica el pre-test de estereoquímica cuyo propósito es tener un diagnostico inicial respecto a los procesos metacognitivos, las

habilidades viso-espaciales, el aprendizaje y desempeño de los estudiantes en relación al tema de estereoquímica.

- Fase tres: Aplicación de la Unidad didáctica de estereoquímica, diseñada bajo un enfoque constructivista y adoptando un modelo de instrucción metacognitivo y viso-espacial; esta unidad contaba con seis instrumentos de lápiz y papel los cuales fueron aplicados durante las 9 sesiones programadas para la unidad de estereoquímica.
- Fase cuatro: Después de aplicar la Unidad didáctica se efectúan las entrevistas individuales, estas declaraciones nutren la información previamente recolectada.
- Fase cinco: Un mes después de la intervención didáctica se aplica el post-test (es el mismo instrumento aplicado al inicio de la intervención), con el fin de determinar si hubo variaciones en cuanto a los procesos metacognitivos, el aprendizaje y desempeño de los estudiantes al resolver ejercicios en estereoquímica, caracterizados por su alto contenido viso-espacial.

### ***3.5 Descripción de las categorías de análisis***

#### *Categoría Metacognición*

Para conocer los procesos metacognitivos de los estudiantes y las habilidades viso-espaciales que intervienen en la resolución de ejercicios en estereoquímica, se diseñaron una serie de Preguntas Metacognitivas en el tema de Estereoquímica (PMEQ) teniendo en cuenta los cuatro temas centrales de la unidad. Siguiendo el modelo de estudio metacognitivo, propuesto por Gunstone & Mitchell (1998) las categorías analizadas fueron: 1. *Conocimiento*, 2. *Conciencia* y 3. *Control* sobre los propios procesos de pensamiento. Las tablas 1, 2 y 3 presentan las sub-categorías de análisis y los indicadores que permitieron determinar los procesos metacognitivos llevados a cabo por los estudiantes mientras resolvían los diferentes ejercicios propuestos.

---

*Conciencia*

---

Saber de naturaleza intra-individual, se refiere al conocimiento que tienen los estudiantes de los propósitos de las actividades que desarrollan y de la conciencia que tienen sobre su progreso personal. (Tamayo, 2006)

---

*Manifestaciones-Indicadores*

---

Identificar si el estudiante conoce los requisitos y demandas de la tarea, y si es consciente de su desempeño y del proceso llevado a cabo para resolver la tarea o el ejercicio propuesto.

---

Tabla 1. Sub- categoría *Conciencia*.

---

*Conocimiento*

---

*Conocimiento Declarativo*

*Conocimiento procedimental*

Incluye el conocimiento acerca de uno mismo como aprendiz y sobre los factores que influyen en su desempeño. (Schraw & Moshman, 1995)

Conocimiento respecto a cómo se hacen las cosas, de cómo suceden. (Tamayo, 2006,2007)

*Indicadores*

*Indicadores*

Identificar si el estudiante reconoce qué sabe y qué no sabe y por qué, al identificar los factores (+) y (-) que inciden en la solución de los ejercicios.

Identificar, las acciones o procedimientos empleados por los estudiantes para resolver los diferentes ejercicios.

---

Tabla 2 Sub-categoría Conocimiento.

<i>Regulación Brown (citada por Tamayo, 2006)</i>		
<i>Planeación</i>	<i>Monitoreo</i>	<i>Evaluación</i>
Atención selectiva de la tarea, enumerar pasos, anticipación de resultados. (Antes)	Autoevaluaciones, sobre cómo se está llevando a cabo el proceso, las revisión o rectificaciones de las estrategias seguidas. (Durante)	Evaluación de los resultados y de las estrategias, seguidas en términos de eficacia. (Final)
<i>Indicadores</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Indicadores</i>
Se analizaron los planes realizados por los estudiantes, si eran elaborados (elaboran tres o más pasos,) o simples (elaborar menos de tres pasos, simplemente resuelve el ejercicio) si realizan atención selectiva de la tarea y si anticipa resultados.	Se analizan si los estudiantes realizan auto-evaluación (monitoreo online), identificando las dificultades o si realizan modificaciones respecto a las estrategias seguidas.	Se analizan la evaluación que los estudiantes realizan sobre los resultados y la eficacia de la estrategia seguidas para resolver los ejercicios.

Tabla 3. Sub- categoría Regulación.

### *Categoría Pensamiento Viso-Espacial*

Además de establecer los procesos metacognitivos de los estudiantes; la relación entre el aprendizaje de conceptos en estereoquímica y las habilidades viso-espaciales también fue estudiada, la tabla 4 expone, las sub-categorías e indicadores que posibilitaron establecer las habilidades viso-espaciales que inciden en el aprendizaje y en la resolución de ejercicios en estereoquímica.

---

*Pensamiento Viso-espacial*

---

El pensamiento viso-espacial incluye la visión-uso de los ojos para identificar, localizar y pensar sobre los objetos y sobre nosotros mismos en el mundo, la formación, inspección, transformación y mantenimiento de las imágenes en la mente en ausencia de un estímulo visual (Mathewson,1998: 34)

---

*Habilidades viso-espaciales y el aprendizaje de la estereoquímica*

---

<i>Sub-Categorías</i>	<i>Indicadores</i>
<i>Traducción y transformación de diferentes representaciones</i>  Habilidad para traducir y transformar diferentes representaciones moleculares en 2D-3D (Hsin-Kai, Krajcik, Soloway; 2001; Hsin-Kai & Shah, 2004)	-Se analiza la habilidad de los estudiantes para interpretar y transformar diferentes representaciones (dimensional, desarrollada, 3D, Fischer, Newman)
<i>Relaciones espaciales</i>  Este factor se compone de las tareas que requieren rotación mental de un objeto ya sea en el plano (2-D) o fuera del plano (3-D). Lohaman (citado por Harley & Towns, 2011)	-Habilidad para realizar giros de moléculas a diferentes ángulos, giros mentales. (Giro de moléculas en 2D- 3D y conformeros del ciclohexano)
<i>Visualización</i>  Habilidad de construir y manipular imágenes mentales tridimensionales a partir de dibujos en 2D-3D. (Pribyl & Bodner, 1987)	-Habilidad para construir imágenes mentales de moléculas después de realizar giros mentales o giros a diferentes ángulos y en la traducción y transformación de representaciones.  -Manipulación de modelos físicos de moléculas en 3D.

Tabla 4. Sub-categorías de análisis pensamiento viso-espacial.

*Categoría Estereoquímica*

La Tabla 5, resume los cuatro temas centrales desde los cuales se analizó el aprendizaje y el desempeño de los estudiantes al resolver ejercicios en estereoquímica: Isómeros del ciclohexano (sustituídos y di-sustituídos) Quiralidad (aquiralidad, centros estereogénicos e imagen especular) Enantiómeros-Diastereoisómeros (Configuración *R-S*), interpretación y traducción de diferentes representaciones moleculares (Fischer, Newman, Silla, dimensional,

tridimensional, condensada, etc.). La investigadora fue quien diseñó, aplicó y enseñó los temas previamente mencionados, bajo el acompañamiento de la profesora titular de la asignatura de Química Orgánica la docente Luz Adriana Betancur Jaramillo (Magister en Química).

<i>Estereoquímica</i>	
Parte de la química orgánica que estudia la disposición y orientación espacial de los átomos y grupos que integran una molécula. (Carey, 1999)	
<i>Aplicación de los conceptos estudiados</i>	-Isomería, conformaciones del ciclohexano, quiralidad-aquiralidad, enantiómeros-diastereoisómeros, configuración (R) (S), traducción y transformación de representaciones
<i>Resolución de los ejercicios</i>	-Resultados (+) ó (-) entre la aplicación de los conceptos estudiados y la solución de los ejercicios propuestos.

Tabla 5 Sub-categorías de análisis estereoquímica.

### 3.6. Instrumentos

#### 3.6.1. Instrumentos de lápiz y papel

Los instrumentos de lápiz y papel, fueron diseñados con el objetivo de conocer los procesos metacognitivos llevados a cabo por los estudiantes mientras resolvían ejercicios en estereoquímica; por medio de una serie de preguntas cortas las cuales debían ser contestadas en un tiempo determinado y de manera individual; estos instrumentos, a su vez permitieron relacionar el aprendizaje de conceptos en estereoquímica con las habilidades viso-espaciales que inciden en la solución de los ejercicios. Las moléculas que hacen parte de los diferentes instrumentos, fueron dibujadas por medio del software Chemsketch Freeware<sup>5</sup>, el cual nos

<sup>5</sup> Disponible en: <http://www.acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch/>

permitió usar diferentes tipos de representaciones moleculares (Planas, dimensionales y tridimensionales, semidesarrolladas, etcétera.)

Dentro de la Unidad Didáctica se incluye un Pre-test (Ver anexo 1) y un Post-test; el pre-test fue aplicado antes de estudiar el tema de estereoquímica, el post-test fue suministrado un mes después de haberse estudiado el tema bajo un enfoque de instrucción metacognitivo y visoespacial, la tabla 6, resume los ejercicios y el número de veces que se presentaban durante la prueba.

Ejercicios	Número de ejercicios
Giro de 90° en el eje X	1
Giro de 180° en el eje Y	2
Imagen Especular	1
Giros mentales	2
Quiralidad	1
Estereoisómeros	1
Total	8

Tabla 6 Ejercicios propuestos durante el Pre-test y el Post-test.

Adicionalmente se diseñaron seis instrumentos, los cuales fueron aplicados durante el transcurso de la Unidad Didáctica, con el fin de rastrear: los procesos metacognitivos y las habilidades visoespaciales durante el aprendizaje y la solución de ejercicios en estereoquímica. A continuación se describe los instrumentos (Ver anexo 1) diseñados y aplicados; los cuales fueron validados por la Magister en Química Luz Adriana Betancur Jaramillo, profesora adscrita al Departamento de Química de la Universidad de Caldas.

Instrumentos	Descripción
Auto-evaluación	Esta evaluación intermedia tiene como objetivo conocer y promover la toma de conciencia del estudiante respecto a sus propios proceso de aprendizaje, identificando los factores (+) y (-) que intervienen en la comprensión de los conceptos estudiados.
Isómeros del ciclohexano	Los estudiantes debían dibujar los isómeros del Cis 1,4 dimetilciclohexano y del Trans 1,4 dimetilciclohexano y determinar por medio de la interconversión de la silla el isómero más estable.
Quiralidad, Imagen especular	Los estudiantes debían señalar e identificar los carbonos quirales de las moléculas modelo y así mismo dibujar sus respectivas imágenes especulares.
Representación Fischer, Enantiómero-Diastereoisómero, asignar configuración R-S	En el primer ejercicio los estudiantes debían traducir y transformar una representación Fischer a una representación dimensional y viceversa. En el segundo ejercicio debían identificar de un par de moléculas, los enantiómeros y diastereoisómeros y por ultimo debía asignar la configuración R-S al 1-Bromo, 1-Cloro etano.
Localizar centros estereogénicos en Biomoléculas, Dibujar diastereoisómeros.	Los estudiantes debían identificar los diversos centros estereogénicos de dos Biomoléculas, después se les pide dibujar el enantiómero (S) de la fenfluramida, por último debían dibujar los enantiómeros y diastereoisómeros de un compuesto de formula molecular $C_4H_8O_4$ .
Taller Extra-clase estereoquímica	Se les pide a los dibujar los isómeros del Cis 1,3 dimetilciclohexano y del Trans 1,3 dimetilciclohexano, realizar las formulas dimensionales de dos pares de enantiómeros y realizar la traducción y transformación de representaciones 2D-Fischer y viceversa.

Tabla 7 Instrumentos aplicados durante la Unidad didáctica.

Con el propósito de conocer la opinión de los estudiantes respecto a la metodología y al enfoque seguido para la enseñanza y el aprendizaje del tema de estereoquímica, se realizó una entrevista semi-estructurada con cada uno de los estudiantes.

### 3.7. Análisis de la información

El proceso de triangulación se llevo a cabo mediante la contrastación de la información procedente en su mayoría de los instrumentos de lápiz y papel (manifestaciones escritas), de las entrevistas y de los gráficos realizados por los estudiantes, las Preguntas Metacognitivas en el

tema de Estereoquímica (PMEQ) se clasificaron de acuerdo a las categorías de análisis previamente establecidas, los dibujos elaborados por los estudiantes enriquecieron las respuestas de las (PMEQ) y permitieron, así mismo, evaluar el desempeño obtenido en diversas tareas.

La codificación e interpretación de los datos se realizó por medio del software científico Atlas/ti, la elaboración y análisis de las redes semánticas permitió: a) caracterizar los procesos metacognitivos que llevan a cabo los estudiantes y cómo estos se relacionan entre sí, b) identificar las habilidades viso-espaciales que intervienen en el aprendizaje y desempeño de los estudiantes en la resolución de ejercicios en estereoquímica. La elaboración de las redes semántica permitió tal y como lo plantea Valdez (citado por Flórez & Velásquez, 2009, p.60) aproximarse al estudio del significado de manera natural, es decir, directamente con los individuos, evitando la utilización de taxonomías artificiales creadas por los investigadores.

### ***3.7.1 El estudio de Caso: un acercamiento al fenómeno estudiado***

El método “estudio de casos” fue empleado para analizar de manera profunda la relación que se establece entre la metacognición y las habilidades viso-espaciales en el aprendizaje y desempeño de los estudiantes al resolver ejercicios de estereoquímica; se presenta en el análisis un *informe descriptivo* de los dos casos estudiados *dirigido por la teoría* (Simons, 2011), o por los marcos teóricos previamente estudiados.

Para Stake (Citado por Simons, 2011) “el estudio de caso es el estudio de la particularidad y la complejidad de un caso, por el que se llega a comprender su actividad en circunstancias que son importantes” (p.40). En virtud de lo anterior, Simons (2011, p.45-46) describe las virtudes que presenta el método “estudio de casos”.

Virtudes del estudio de caso:

- Flexible, no depende del tiempo (puede hacerse en días, meses o años), puede contener diversidad de métodos que sean apropiados para comprender el caso.
- Posibilidad de incorporar a los participantes en el proceso investigativo.

- Brinda la posibilidad de que el investigador (es) adopten un enfoque auto-reflexivo para comprender el caso.

A manera de síntesis, consideramos que “el estudio de casos” permitió a través de la yuxtaposición de los datos obtenidos; la interpretación y la generación de las conclusiones, relacionadas con las categorías de análisis y con los objetivos investigativos.

## CAPÍTULO 4

---

### **Análisis y Discusiones**

#### ***4.1 Introducción***

El análisis realizado permitió conocer y determinar los procesos metacognitivos y las habilidades viso-espaciales de dos estudiantes de la Licenciatura en Biología y Química de la Universidad de Caldas, a través del método “estudio de caso” y siguiendo el modelo de estudio metacognitivo, propuesto por Gunstone & Mitchell (1998) las categorías analizadas fueron: 1. *Conocimiento*, 2. *Conciencia* y 3. *Control* sobre los propios procesos de pensamiento; paralelamente se estudio la relación entre el aprendizaje de conceptos en estereoquímica y las habilidades viso-espaciales que intervienen en el desempeño de los estudiantes, las categorías analizadas fueron: 1. *Traducción y Transformación de diferentes representaciones* (Wu, Krajcik, Soloway; 2001; Wu & Shah, 2004), 2. *Relaciones espaciales* Lohaman (citado por Harley & Towns, 2011), 3. *Visualización* (Pribyl & Bodner, 1987)

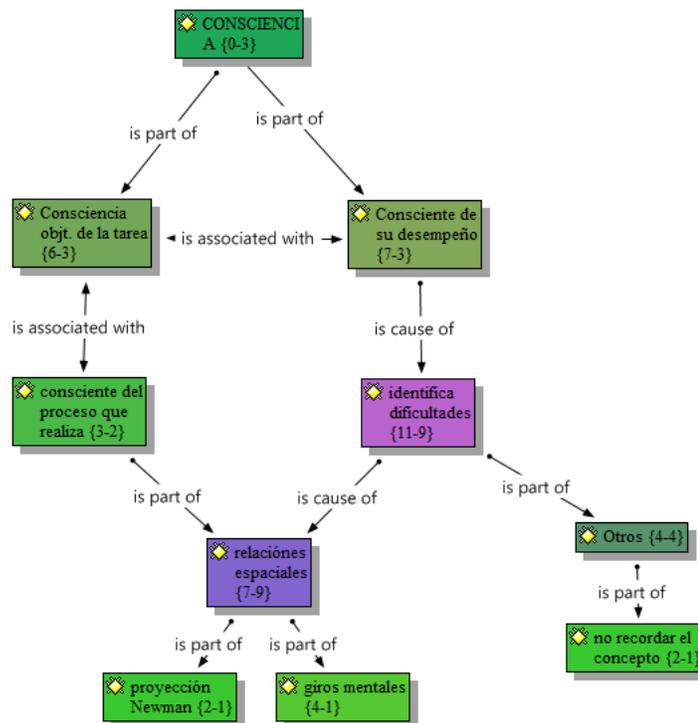
#### ***4.2 Análisis categoría Metacognición***

##### ***Sub-categoría***

##### ***4.2.1 Conciencia***

El estudio de la conciencia se aborda desde el conocimiento que tiene la persona sobre sus propios procesos cognitivo, Tamayo (2007, p.9) define la conciencia como “un saber de naturaleza intra-individual, se refiere al conocimiento que tienen los estudiantes de los propósitos de las actividades que desarrollan y de la conciencia que tiene sobre su propio progreso personal”.

El siguiente análisis identifica la toma de conciencia del E.1 (red semántica 1), donde se establecen relaciones principalmente en torno a la conciencia sobre el objetivo de la tarea y sobre el proceso que llevado a cabo para resolverla, así mismo se evidencia la conciencia que tiene sobre su desempeño al identificar aquellos obstáculos que intervienen en la solución de los ejercicios.



Red Semántica. 1 Conciencia respecto a: el objetivo de la tarea, al proceso que realiza y frente a su desempeño en tareas específicas. E.1

*Análisis de la conciencia sobre el objetivo de la tarea y sobre el proceso que realiza.*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.1</b>
Giro de 180° eje y en 3D (Pre-test)	P.3: ¿Consideras es clara la pregunta planteada para el ejercicio anterior? Si__ No__ ¿Por qué?  P.4: ¿Por qué crees que la respuesta que elegiste fue la correcta? Justifica tu respuesta.	<i>Si, la pregunta es clara porque lo único que nos están pidiendo es que realicemos un giro y que cuál es la respuesta correcta.</i>  <i>Creo que es correcta porque nos piden un giro de 180° en el eje x y simplemente gire la molécula dejando 1 en la misma posición lo que se movía eran los demás estaba entre la A y la D porque muestra 1 arriba en la misma posición inicial y al realizar la rotación me quedo con la D.</i>
Giro de 180° eje y en 3D (Post-test)	P.3: ¿Consideras es clara la pregunta planteada para el ejercicio anterior? Si__ No__ ¿Por qué?  P.4: ¿Por qué crees que la respuesta que elegiste fue la correcta? Justifica tu respuesta.	<i>Es claro porque sólo nos piden realizar un giro de 180° y luego mirar cuál es la respuesta.</i>  <i>Creo que es correcta porque tome como si el uno no se moviera y a partir de él se realizará el giro.</i>

Tabla 8 Conciencia del objetivo de la tarea y del proceso que realiza durante el Pre-test y Post-test.

La tabla 8, resume las explicaciones del estudiante ante las preguntas que indagaban por el conocimiento respecto al objetivo de la tarea y al proceso que llevaba a cabo para resolverla; ante la tarea de dibujar los isómeros del *Cis* y *Trans* 1,4 dimetil ciclohexano, para poder determinar el isómero más estable, se le pregunta al estudiante ¿Crees que puedes resolver el ejercicio propuesto? Si\_\_ No\_\_ ¿Por qué? La respuesta que proporciona es:

*“Si,..... Además sabiendo que el más estable es cuando se presenta en posiciones ecuatoriales, todo es más sencillo cuando se tiene una idea del concepto a resolver”.*

Es clara la conciencia que tiene sobre el objetivo de la tarea “(...) sabiendo que el más estable es cuando se presenta en posiciones ecuatoriales”, lo cual se relaciona con los conceptos

previamente estudiados, esto le permitió determinar correctamente cuál era el isómero más estable.

La conciencia que tiene sobre los objetivos de la tarea y sobre el proceso que realiza, se manifiesta cuando el estudiante debe girar mentalmente una molécula 3D  $180^\circ$  en el eje y,

*Pre-test: “La pregunta es clara porque lo único que nos están pidiendo es que realicemos un giro y que cuál es la respuesta correcta”.*

Identifica el objetivo de la tarea y adicionalmente explica el proceso que considera le permitió elegir la respuesta correcta:

*“Creo que es correcta porque nos piden un giro de  $180^\circ$  en el eje x y simplemente gire la molécula dejando 1 en la misma posición lo que se movía eran los demás estaba entre la A y la D porque muestra 1 arriba en la misma posición inicial y al realizar la rotación me quedo con la D”.*

Inicia eligiendo el centro de giro (González, 2009) “(...) dejando 1 en la misma posición” después de realizar la rotación evalúa el movimiento de los demás átomos de la molécula para finalmente poder comprar y elegir entre las moléculas dadas aquella que representa el giro.

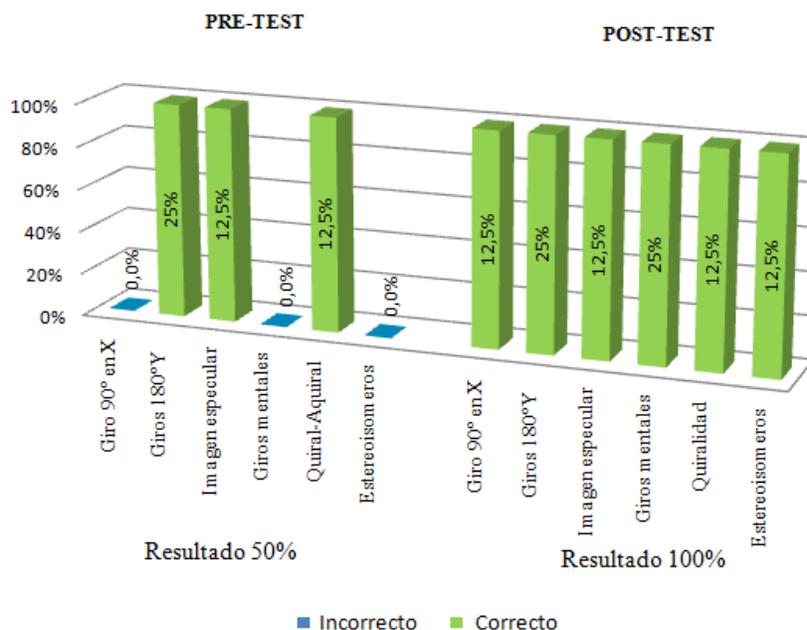
La conciencia que tiene sobre el objetivo de la tarea y del proceso que realiza se evidencia así mismo en el post-test, considera que la pregunta es clara porque: “...sólo nos piden realizar un giro de  $180^\circ$  y luego mirar cuál es la respuesta” y explica que la respuesta que eligió es correcta porque: “tome como si el uno no se moviera y a partir de él se realizará el giro”; la estrategia usada (tomar el átomo 1 representado en el plano) es igual durante el pre-test y el post-test, lo cual demuestra su eficacia; como este átomo se encuentra representado en el plano verticalmente realizar el giro de  $180^\circ$  en el eje Y parece ser más sencillo que realizar una rotación de  $90^\circ$ . Las opciones elegidas por el estudiante en ambos test fueron correctas.

#### *Análisis de la conciencia sobre su desempeño*

Los valores establecidos en la Tabla 9, fueron asignados de la siguiente manera: el 100% equivale a un desempeño total y exitoso del test, como está compuesto por 8 ejercicios cada uno de ellos tendrá un valor de 12, 5%; a excepción de los ejercicios (giro de  $180^\circ$  en el eje Y, y giros mentales) los cuales se repiten dos veces durante el test, se asigna por lo tanto un valor de 25% a cada uno de ellos, con el fin de evaluarlos de manera integral.

Ejercicios	Valor asignado %
Giro de 90° en el eje X	12.5
Giro de 180° en el eje Y	25
Imagen Especular	12.5
Giros mentales	25
Quiralidad	12.5
Estereoisómeros	12.5
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Tabla 9 Valores asignados a los ejercicios del pre-test y del post-test



Gráfica 1 Desempeño E.1 durante el Pre-test y Post-test estereoquímica.

Una aproximación al análisis de la conciencia del estudiante sobre su propio desempeño, se hace en torno a los datos representados expuesto en la Grafica. 1 (resultados obtenido por el E.1 durante el Pre-test y el Post-test). Al finalizar cada test se le pide que: De 1 a 10 califique ¿Cuál fue su desempeño mientras resolvía los ejercicios propuestos? Justifique su respuesta. Durante el pre-test responde:

Pre-test: “8, porque me faltó conocimientos para responder la pregunta 6 además si me toco pensar un poco para responder las preguntas”.

La Calificación que se asigna es 8 y agrega que la ausencia de conocimientos le impidió resolver la pregunta 6 relaciona con el concepto de quiralidad; es interesante resaltar que en esta pregunta no tuvo dificultades al identificar qué moléculas eran quirales y cuáles acquirales. Aunque el estudiante es repitente de la asignatura, aún no es conciente de aquello que sabe y de lo que no sabe, por lo tanto es difícil identificar si conoce su desempeño.

Al contrastar la calificación del pre-test con el post-test el E.1 reválida la calificación, argumenta que sus respuestas se basan en los conocimientos que posee sobre el tema, añade la falta de motivación al resolver los ejercicios. “8, resolví las preguntas con sinceridad y con base en lo que sabía pero no lo hice con mucho empeño lo resolví por que debía hacerlo”. En ambos test las respuestas, no proporcionan información clara respecto al conocimiento que tiene sobre su propio desempeño en relación a los logros obtenidos. En relación con lo anterior Monereo (1995, p.80) plantea la importancia de “Enseñar a los estudiantes a conocerse mejor como "aprendices", es decir, a identificar cuáles son sus dificultades, habilidades y preferencias en el momento de aprender (...)”.

Retomando el análisis, la conciencia del E.1 sobre su desempeño en tareas específicas es perceptible, cuando identifica los factores que inciden en el desarrollo de un ejercicio, la grafica 1 muestra que su desempeño durante el Pre-test en ejercicios que requerían a) rotar mentalmente una molécula tridimensional, de tal manera que el Hidrógeno quedará ubicado lejos del observador y b) girar una molécula bidimensional  $90^\circ$  en el eje X fue de 0.0%; confrontamos estos resultados con las respuestas otorgadas a las preguntas que indagan por las dificultades u obstáculos presentados, encontramos que el estudiante claramente identificaba que factores influyeron en la solución de los ejercicios, por ejemplo:

Pre-test: Giro de  $90^\circ$  eje Y 2D: “Se me dificultó un poco hacerlo porque en el papel es algo duro no hay como tener el modelo para realizar el giro”.

Así mismo, al comparar el resultado obtenido durante el pre-test y el post-test se evidencia un cambio sustancial en su desempeño, en especial en los ejercicios anteriormente citados (giros

mentales 25% y giros de moléculas a diferentes ángulos 37.5%), aunque hace hincapié en las dificultades que tuvo:

*Post-test: Giro de 90° eje y 2D: “Al realizar el giro se me dificultó un poco darme cuenta donde quedaba, me toco utilizar la imaginación”.*

*Post-test: Giro mental 3D: “Imaginarme como quedaría el compuesto después de hacerle el giro porque la verdad no tenía idea”.*

Sin embargo, las moléculas que eligió durante el post-test correspondían a los giros pedidos, es claro además que en ambas respuestas del post-test, su dificultad radica en el proceso mental de visualizar (*Imaginarme*), las nuevas relaciones espaciales que se establecen entre los átomos o grupos de la molécula después de realizar dichas rotaciones.

### *Conclusión preliminar*

La conciencia del E.1 respecto a los objetivos de la tarea se corresponde con los procesos que lleva a cabo; las respuestas suministradas por el estudiante no permiten evidenciar conciencia respecto a su desempeño en general (avances o logros personales, mecanismos, acciones o procedimientos que lleva a cabo, etcétera), en virtud de lo anterior y teniendo en cuenta la importancia de generar espacios que propicien la reflexión metacognitiva; Flavell (1987) y Kuhn (2000) consideran que la toma de conciencia se incrementa en la medida en que nos vemos involucrados en actividades o tareas que requieren de un control respecto a lo que se está llevando a cabo; por lo tanto es un deber del docente fortalecer los procesos de toma de conciencia en el aula, ayudándole al estudiante a reconocer e identificar sus fortalezas y deficiencias.

Sin embargo, cuando se le pregunta por su desempeño en tareas específicas, el estudiante puede reconocer aquellos factores negativos que intervienen en la solución de determinados ejercicios, en particular aquellos donde debía realizar giros mentales y giros a un ángulo determinado. La principal dificultad se encuentra en el proceso de visualizar (resultado del giro) y por consiguiente el establecimiento de las nuevas relaciones espaciales “involucra las

relaciones espaciales entre los referentes<sup>6</sup> mientras trabajas en las tareas” (Bodner & Briggs, 2005, p. 92).

Expresa la dificultad de realizar el giro de una molécula 2D en el plano, sugiere que si tuviera un modelo la rotación sería más fácil. Esta declaración justifica la importancia de usar los modelos de palos y bolas durante la enseñanza de la estereoquímica, Wu, Krajcik, Soloway; (2001, p. 839) señalan “.....su utilización ofrece una experiencia concreta de los enlaces químicos, los átomos y las moléculas necesarias para los estudiantes...”.

#### ***4.2.2 Análisis tipos de conocimiento***

El conocimiento metacognitivo se refiere al conocimiento que tiene una persona sobre sí mismo como aprendiz, se manifiesta cuando puede expresar que sabe, que no sabe y porqué, y cuando explica o determina los pasos o mecanismos que lleva a cabo mientras resuelve una tarea. Schraw & Moshman (1995, p. 352-353) señalan “El conocimiento de la cognición se refiere a lo que las personas saben acerca de su propia cognición o sobre la cognición en general”, el análisis que se presenta examina el conocimiento declarativo y procedimental del estudiante mientras resuelve ejercicios en estereoquímica.

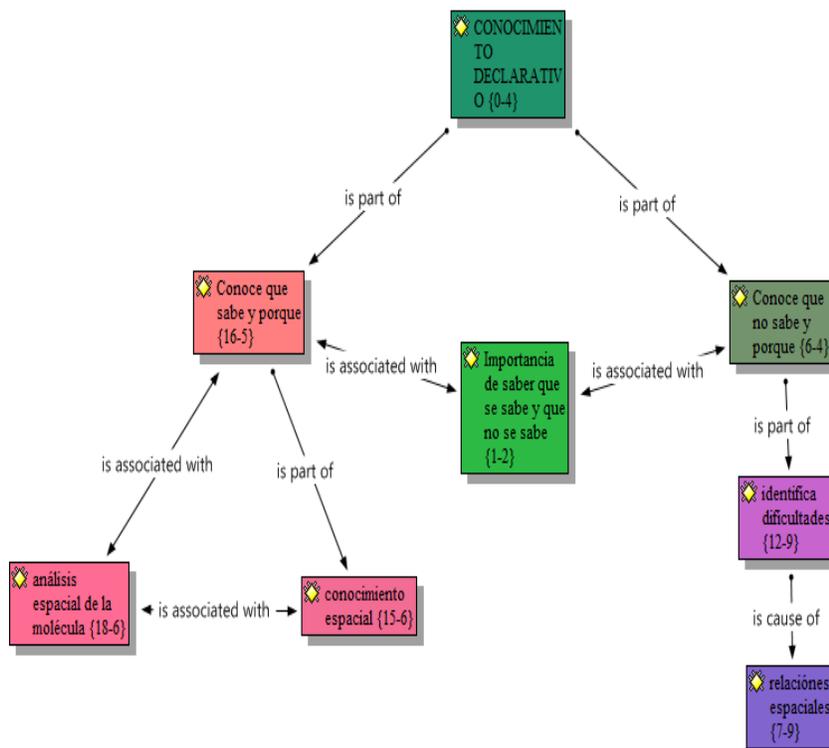
##### *Conocimiento declarativo*

Estos autores consideran que el conocimiento declarativo incluye el conocimiento acerca de uno mismo como aprendiz y sobre los factores que influyen en su desempeño. A su vez (Tamayo, 2006, p. 2) lo define como un “Conocimiento proposicional referido a un saber que, acerca de uno mismo como aprendiz y de los diferentes factores que influyen de manera positiva o negativa en nuestro rendimiento”. El análisis que se presenta expone el conocimiento del estudiante respecto a lo que sabe y no sabe y a la justificación que proporciona. La red semántica 2, expone las relaciones que se generan desde lo que el estudiante sabe, correspondiéndose con el análisis y conocimiento espacial que expresa; así mismo aquello que desconoce le permite

---

<sup>6</sup> Referentes: diagramas, dibujos de moléculas o modelos físicos.

identificar las dificultades presentadas durante la solución de algunos de los ejercicios propuestos.



Red Semántica. 2 Conocimiento declarativo E.1 respecto a: lo que sabe y no sabe, derivado de las justificaciones que proporciona.

Análisis sobre lo que sabe y porque y porque lo sabe

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.1
Autoevaluación	P.1: Asigna un (+) a aquellos conceptos que consideres has comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no son tan claros para ti. Justifica tu respuesta.	<p>Isómeros estructurales (+) ¿Por qué? <i>Se lo que es un isómero estructural como se realiza en un plano su estructura lo único que cambia es la ubicación de los carbonos.</i></p> <p>Isómeros geométricos (+) ¿Por qué? <i>Se diferenciar entre los isómeros cis y trans y que estos se dan cuando hay un doble enlace.</i></p>
Quiralidad	P.1: Describe ¿Qué criterios tuviste en cuenta para resolver el punto a de la actividad individual?	<p>La molécula A es: <u>Quiral</u> ¿Por qué? <i>Todos los átomos que están unidos al carbono son diferentes, además no presenta un plano de espejo, carbono sp<sup>3</sup>.</i></p> <p>La molécula B es: <u>Quiral</u> ¿Por qué? <i>Todos los átomos unidos al carbono son diferentes, no presenta un plano de espejo, el carbono presenta hibridación sp<sup>3</sup>.</i></p>
Taller extra-clases estereoquímica.	P.5: Señale con un (+) y con un (-) ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos?	<p>La molécula C es: <u>Aquiral</u> ¿Por qué? <i>Presenta un grupo que se encuentra en 3 veces.</i></p> <p>Representación semidesarrollada (+) ¿Por qué? <i>Fácil me permite observar los átomos presentes en las moléculas.</i></p> <p>Representación dimensional (+) ¿Por qué? <i>Fácil me permite ver los átomos que están en el plano, atrás y adelante.</i></p> <p>Representación 3D (+) ¿Por qué? <i>Está forma de representación es sencilla de hacer nos permite girar la molécula más fácil y observar todos sus átomos</i></p>

Tabla 10. Conocimiento respecto a lo que sabe validado desde sus explicaciones.

La Tabla 10, resume algunas de las declaraciones proporcionadas por el estudiante respecto a lo que conoce y porque; por ejemplo cuando se le pide al estudiante asignar un (+) a aquellos conceptos que considere ha comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no son tan claros para él durante una auto-evaluación realizada afirma que conoce los siguientes conceptos:

Isómero estructural (+): “¿Por qué? Se lo que es un isómero estructural como se realiza en un plano su estructura lo único que cambia es la ubicación de los carbonos”.

Isómero Geométrico (+): “¿Por qué? Se diferenciar entre los isómeros *cis* y *trans* y que estos se dan cuando hay un doble enlace”.

Para el caso de los isómeros estructurales argumenta que sabe cómo se representan y que lo único que cambia es su ubicación. Este tipo de isómeros se pueden identificar observando cómo cambia la ubicación del carbono a lo largo de la cadena analizada; así mismo, los isómeros geométricos se representan en el plano, señala que sabe diferenciar un isómero *cis-trans* en un enlace doble, sus argumentos se relacionan con los conceptos estudiados, aunque los isómeros *cis-trans* no se presentan sólo en los alquenos. En ambos conceptos su justificación se deriva de lo que hemos denominado como “conocimiento espacial” el cual hace referencia al conocimiento que el estudiante tiene respecto a la orientación y ubicación espacial de los átomos o grupos de una molécula.

Así mismo, durante otra actividad se le pide que señale con un (+) y con un (-) ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos? el estudiante reconoce, por ejemplo, que sabe interpretar una representación semidesarrollada:

*“Es sencilla de hacer nos permite girar la molécula más fácil y observar todos sus átomos”.*

Explica que la puede interpretar porque puede observar los átomos, este tipo de representaciones proporciona información sobre la conectividad (Juaristi, 2005) que se establece entre los grupos o átomos de una molécula; usualmente en las clases de química se estudian diversas representaciones moleculares, por lo tanto el estudiante debe poseer la habilidad de poder interpretar esta información simbólica. Para el caso de una representación 3D y 2D el E.1 expresa que:

*Representación 3D (+) “¿Por qué? Fácil me permite observar los átomos presentes en las moléculas”.*

*Representación dimensional (+) ¿Por qué? Fácil me permite ver los átomos que están en el plano, atrás y adelante.*

Este tipo de representaciones son más explícitas, respecto a la visualización que proporcionan sobre de la orientación y posición espacial que adoptan los átomos o grupos en una molécula, para el caso de la representación 3D, esta configuración (Juaristi, 2005) permiten representar el mundo microscópico de la química en tres-dimensiones. Las explicaciones respecto a la facilidad de interpretar estas representaciones moleculares están sujetas al conocimiento espacial que el estudiante ha desarrollado durante diversos cursos de química, donde el uso de estas representaciones es intensivo.

Continuando con el análisis, ante la pregunta ¿Qué criterios tuviste en cuenta para resolver el punto A?, ejercicio que requería que el estudiante señalará con un asterisco el carbono quiral o centro estereogénico, responde:

*La molécula A (ácido, 2 amino propanoico) es: Quiral ¿Por qué? Todos los átomos que están unidos al carbono son diferentes, además no presenta un plano de espejo, carbono  $sp^3$ .*

*La molécula B (1, Cloro etanol) es: Quiral ¿Por qué? Todos los átomos unidos al carbono son diferentes, no presenta un plano de espejo, el carbono presenta hibridación  $sp^3$ .*

*La molécula C (2,3 dimetil, 1, penteno) es: Aquiral ¿Por qué? Presenta un grupo que se encuentra en 3 veces.*

Los criterios que el estudiante tuvo en cuenta para poder identificar los carbonos quirales se basan en lo que hemos denominado como “análisis espacial”, proceso que requiere observar las características espaciales de la molécula, para poder determinar la orientación y posición relativa de los átomos y grupos. Este análisis se evidencia en sus declaraciones al establecer que las moléculas A y B son quirales ya que los átomos unidos son diferentes; además, especifica la hibridación  $sp^3$  del carbono, Fessenden (1983, p.140) señala “que para identificar un átomo de carbono quiral, debemos asegurarnos de que los cuatro grupos unidos al carbono  $sp^3$  sean diferentes”, este es justamente el criterio establecido por el estudiante.

Para determinar la molécula C el estudiante identifica tres grupos repetidos, cuando en realidad sólo se repite dos veces el  $CH_3$ , lo que la hace una molécula aquiral. La Figura 7 presenta las moléculas estudiadas, la molécula C presenta un centro quiral y otro aquiral. Podemos entonces concluir que el análisis espacial realizado por el estudiante le permitió

identificar adecuadamente, por medio de un asterisco los centros quirales o estereogénicos de las moléculas.

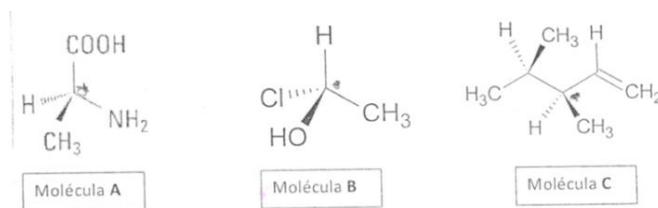


Figura 7: Identificación de átomos quirales o centros estereogénicos.

*Análisis respecto a lo que no sabe analizado desde las explicaciones que brinda*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.1
Autoevaluación	P.1: Asigna un (+) a aquellos conceptos que consideres has comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no son tan claros para ti. Justifica tu respuesta.	Isómeros conformacionales (-) ¿Por qué? <i>En estos momentos no me acuerdo de lo que significa un isómero conformacional.</i>  Conformaciones de los compuestos cíclicos (+ ó -) ¿Por qué? <i>A veces se me dificulta un poco al hacer las proyecciones Newman de algunos compuestos como fue el caso del ácido 3-hidroxi propanoico.</i>
Autoevaluación	P.4: Señala con una <b>X</b> ¿Tuviste dificultades al interpretar cada una de las siguientes representaciones?	Newman (Si) ¿Por qué? <i>Se me hace difícil ubicar los dos carbonos que nos permiten ver esta representación y de ahí pasar a ver si son eclipsados o alternados.</i>

Tabla 11 Conocimiento sobre lo que no sabe sustentado desde las explicaciones que brinda.

La Tabla 11, presenta las manifestaciones del estudiante respecto a lo que no sabe apoyado en sus explicaciones. De nuevo, al pedirle al estudiante que asigne un (+) a aquellos conceptos que considera ha comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no son tan claros, señala con un (-) los siguientes conceptos:

*“Isómeros conformacionales (-) ¿Por qué? En estos momentos no me acuerdo de lo que significa un isómero conformacional”.*

*“Conformaciones de los compuestos cíclicos (+ ó -) ¿Por qué? A veces se me dificulta un poco al hacer las proyecciones Newman de algunos compuestos como fue el caso del ácido 3-hidroxi propanoico”.*

El estudiante reconoce que no recordar el concepto impide su comprensión y además es conciente de la fragilidad de su memoria. Respecto a las conformaciones de los compuestos cíclicos, señala que se le dificulta realizar la proyección Newman de diferentes cicloalcanos, en especial cuando se trabajan moléculas complejas como el ácido 3-hidroxi propanoico. Aunque su respuesta no permite identificar la razón por la cual le dificulta realizar esta proyección, cuando se le pide que señala con una X ¿Tuviste dificultades al interpretar cada una de las siguientes representaciones? Su respuesta es:

*“Newman (Si) ¿Por qué? Se me hace difícil ubicar los dos carbonos que nos permiten ver está representación y de ahí pasar a ver si son eclipsados o alternados”.*

Podemos determinar, que las dificultades que presenta el estudiante radica en la representación de la orientación espacial del átomo (frontal y posterior) de la molécula y en la visualización de las posiciones que asumen respecto a los demás átomos o grupos, cuando se dibuja la proyección Newman. Wu & Shah (2004, p.485) señalan que durante la transformación y traducción de representaciones “una de las dificultades que presentan los estudiantes es la incapacidad de formar imágenes mentales 3D mediante la visualización de estructuras 2D, porque en algunas situaciones, las imágenes presentadas en 2D no proporcionan señales de profundidad”

La interpretación y elaboración de este tipo de representaciones, requiere de un desempeño espacial alto por parte del estudiante y de un trabajo previo con este tipo de representaciones. Lo anterior se relaciona con lo expuesto por Bodner & Domin (2000, p.25) “los estudiantes (y muchos profesionales en química) están más familiarizados con la estructura de moléculas en línea que con las proyecciones Newman. Una crítica a la práctica actual de los docentes de química, es el restringido uso de representaciones moleculares; por lo tanto se hace necesario que el docente incorpore diversas representaciones durante su discurso, haciendo reiterado énfasis en las convenciones y la información que representan. Es importante subrayar que durante el estudio de la estereoquímica, se emplearon diversas representaciones moleculares.

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.1
Entrevista	P.2: ¿Crees que es importante que le docente conozca cuáles son las dificultades que presentan los estudiantes durante la enseñanza de la estereoquímica? Si__ No__ ¿Por qué?	<i>Sí, yo creo que se debe comenzar por lo que el estudiante desconoce para partir desde ahí y no hacer de cuenta que el estudiante ya sabe muchas cosas entonces es más sencillo enseñarle a los estudiantes así, partiendo de lo que desconocen.</i>
Entrevista	P.4: ¿Piensas que es necesario que ustedes los estudiantes conozcan sus fortalezas e identifiquen las debilidades mientras se estudia el tema? Si__ No__ ¿Por qué?	<i>Sí, porque pues si conocemos las fortalezas pues va ser más sencillo, si conocemos las debilidades pues entonces desde ahí pues sabemos a que tenemos que enfocarnos más para así realizar los ejercicios, no sé.</i>

Tabla 12 Declaraciones dadas por el estudiante durante la entrevista E.1

Tabla 12, resume las respuestas del estudiante durante la entrevista realizada, ante la pregunta: ¿Crees que es importante que le docente conozca cuáles son las dificultades que presentan los estudiantes durante la enseñanza de la estereoquímica? Si\_\_ No\_\_ ¿Por qué? Responde:

*“Sí, yo creo que se debe comenzar por lo que el estudiante desconoce para partir desde ahí y no hacer de cuenta que el estudiante ya sabe muchas cosas entonces es más sencillo enseñarle a los estudiantes así, partiendo de lo que desconocen”.*

El estudiante reflexiona respecto a la importancia de que el docente conozca las dificultades que puede presentar mientras se estudia un tema determinado; señala que sería más sencillo enseñar desde lo que no se sabe, este argumento se relaciona con lo planteado por Tamayo (2007, p.112) cuando propone que “se considera necesario para cualquier proceso de enseñanza que los profesores conozcan en detalle cómo sus estudiantes aprenden los campos disciplinares que ellos enseñan”.

Del mismo modo cuando se le pregunta ¿Piensa que es necesario que ustedes los estudiantes conozcan sus fortalezas e identifiquen las debilidades mientras se estudia el tema? Si\_\_ No\_\_ ¿Por qué? Justifica que:

*“Sí, porque pues si conocemos las fortalezas pues va ser más sencillo, si conocemos las debilidades pues entonces desde ahí pues sabemos a que tenemos que enfocarnos más.....”*

La anterior se relaciona con la propuesta de Lin (2001, p.35) respecto a la generación de espacios metacognitivos donde se puedan “proporcionar oportunidades frecuentes para que los estudiantes se auto-evalúen de manera que puedan explicar concretamente qué saben y qué no saben.

### *Conclusión preliminar*

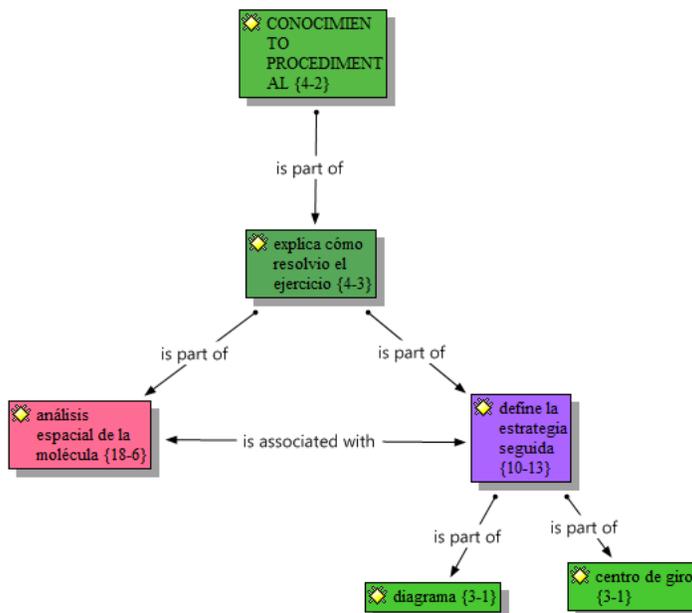
En conclusión, el análisis anterior permite develar conocimiento declarativo por parte del estudiante a través del análisis de las justificaciones que brindaba, identificándose dos componentes claves: el conocimiento espacial que expresa al momento de interpretar la disposición y organización espacial de cierto tipo de isómeros (estructurales y geométricos) y el análisis espacial que emplea cuando debe observar una molécula modelo y determinar sus características espaciales (quiralidad/aquiralidad). Se pudo establecer además, que el estudiante puede reconocer aquello que no sabe explicando las dificultades que tuvo durante la solución de un ejercicio determinado (realizar la proyección Newman para el ácido 3-hidroxi-propanoico) el establecimiento de las relaciones espaciales (identificar y dibujar el carbono frontal y posterior) fue difícil.

Complementando lo anterior Padalka & Hegarty (2012, p.2162) señalan que el dominio de este tipo de representación (Newman) “es un reto, debido a que utilizan diferentes convenciones para representar las tres dimensiones (3-D) disposición de los átomos en las moléculas en las dos dimensiones de la página impresa”. La importancia de generar espacios de reflexión o de autorregulación se apoya en el conocimiento que paulatinamente el estudiante desarrolla sobre sí mismo como aprendiz, identificando aquello que sabe y aquello que no sabe.

### *Conocimiento procedimental*

Conocer cómo y porqué que se hacen las cosas de una manera determinada se relaciona con lo propuesto por Tamayo (2006, p. 2) cuando define el conocimiento procedimental

como “Un saber cómo se hacen las cosas, de cómo suceden, es un tipo de conocimiento que puede representarse como heurísticos y como estrategias en las cuales los individuos definen los pasos seguidos en la solución a un problema”. El análisis que se presenta a continuación (Red semántica 3) se extiende a partir de las explicaciones del E.1, sobre la manera cómo resolvió los diferentes ejercicios; definiendo la estrategia seguida deriva del análisis espacial de las moléculas que integraban los diferentes ejercicios.



Red Semántica. 3 Conocimiento procedimental E.1: Explica cómo resolvió los ejercicios define la estrategia seguida asociada con un análisis espacial previo.

*Análisis sobre cómo resolvió el ejercicio propuesto*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.1</b>
Identificar enantiómero de la (S) Leucina	P.3: ¿Cuál fue el proceso que realizaste para resolver el punto.6? ¿Por qué?	<i>A: Revisar la configuración de la estructura y saber si era (S) ó (R) para luego compararlo con la estructura a, b, c. B: Hacerle un plano de espejo a la molécula inicial. C: Mirar la configuración a, b, c para darme cuenta cuál era el enantiómero correspondiente en este caso (R)</i>
Pasar de una representación Dimensional a una Fischer	P.3: ¿Cuál fue el proceso que realizaste para resolver el punto.5? ¿Por qué?	<i>A: Me fije que configuración tenía si R ó S. B: Pase a ubicar los que estaban adelante y por último los que se encuentran en el plano. C: Mirar con la configuración R ó S que queda para darme cuenta si la estructura me quedó bien ya que debe dar la misma configuración que la inicial.</i>

Tabla 13 Explicaciones respecto al proceso empleado para resolver los ejercicios.

La tabla 13, expone las explicaciones del estudiante respecto a la forma cómo resolvió los ejercicios, identificándose las estrategias seguidas y su relación con el análisis espacial de las moléculas. Durante el proceso de transformación (pasar de una representación 2D a una representación plana Fischer) el estudiante E.1 ante la pregunta ¿Cuál fue el proceso que realizaste para resolver el punto.5? ¿Por qué? responde:

*A: Me fije que configuración tenía si R ó S.*

*B: Pase a ubicar los que estaban adelante y por último los que se encuentran en el plano.*

*C: Mirar con la configuración R ó S que queda para darme cuenta si la estructura me quedó bien ya que debe dar la misma configuración que la inicial.*

El paso A, revela el análisis espacial que realiza la Figura 8, permite evidenciar que esta acción fue realizada con cada una de las moléculas a transformar, identificando su configuración inicial (R) ó (S), sin embargo este análisis sólo fue efectivo en la molécula A. En el paso B explica la re-ubicación de los átomos, este componente es definido por Briggs & Bonder (2005, p.95) como reglas/sintaxis, especialmente en tareas que requieren generar un producto (dibujo de la transformación) y para ello es necesario seguir un método o proceso que permite organizar las imágenes mentales, producto de tal transformación. Destacan los autores que la perspectiva (átomos cerca o lejos del observador) hace parte de este proceso, lo cual se evidencia cuando

explica la ubicación de los átomos que se encontraban cerca del observador y los que se encontraban en el plano.

Finalmente, en el paso C expresa que compara la configuración inicial y final de la molécula para comprobar que la transformación fue adecuada, al contrastar este proceso con los dibujos elaborados (Moléculas B y C) podemos deducir que la exigencia espacial que implica transformar una molécula 2D y representarla de nuevo en el plano, es evidente. Lo anterior se relaciona con la afirmación de Wu & Shah (2004, p.473) quienes consideran que la transformación de representaciones “requiere de habilidades espaciales sustanciales”.

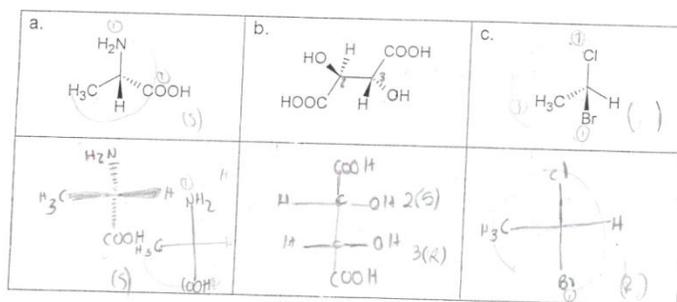


Figura 8: Los cuadros inferiores evidencia la transformación de representaciones (2D-Fischer) realizadas por el estudiante, especificando la configuración absoluta (R-S) de las moléculas.

Al extender el análisis, cuando el estudiante debe identificar el enantiómero (S) de la Leucina, expresa que el proceso que realizó para resolver el ejercicio fue: “A: Revisar la configuración de la estructura y saber si era (S) ó (R) para luego compararlo con la estructura a, b, c”. De nuevo se evidencia el análisis espacial que realiza antes de resolver el ejercicio, lo cual es consistente con los conceptos estudiados, ya que, para poder determinar de las opciones dadas ¿cuál es el enantiómero (R) de la Leucina? debe revisar la configuración absoluta de la Leucina, define la estrategia seguida: B: Hacerle un plano de espejo a la molécula inicial, al aplicar el plano de espejo podrá determinar el enantiómero de la molécula modelo.

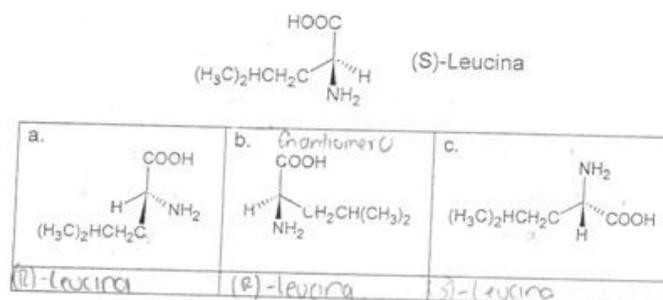


Figura 9. Los cuadros inferiores evidencian el análisis espacial (determina la configuración absoluta R ó S) de cada una de las opciones dadas con el fin de determinar, la molécula que representa el enantiómero pedido.

Al revisar el tratamiento que hace de las opciones dadas (figura 9), el estudiante obtuvo un desempeño correcto entre la aplicación de los conceptos estudiados y la solución del ejercicio.

#### Análisis del conocimiento procedimental hallado durante el Pre-test-Post-test

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.1	Resultado
Giro de 90° eje x2D (Pre-test)	P.1: Describe el proceso que realizaste para resolver el ejercicio.	<i>Tuve en cuenta el diagrama que había en la parte superior para hacer el giro y como era de 90° el que estaba adelante pasa atrás y que estaba arriba pasa abajo.</i>	Incorrecta
Giro de 90° eje x2D (Post-test)	P.1: Describe el proceso que realizaste para resolver el ejercicio.	<i>Lo que hice fue girar el fluor y este me quedo en la posición adelante y me quedo como la opción A, B, C. Luego me base en el giro realizo el OH estaba adelante me quedo atrás y luego mire la opción que me daba y así conteste que era la C.</i>	Correcta

Tabla 14 Conocimiento procedimental identificado durante la solución del Pre-test y del Post-test

La Tabla 14, resumen los procesos llevados a cabo por el estudiante durante el pre-test y el post-test, ante la tarea de rotar una molécula 2D 90° en el eje X durante el proceso descrito durante el Pre-test es:

Pre-test: "Tuve en cuenta el diagrama que había en la parte superior para hacer el giro y como era de 90° el que estaba adelante pasa atrás y el que estaba arriba pasa abajo".

El estudiante toma como referencia, el diagrama que ilustra cómo y hacia donde se debe realizar el giro (Ver anexo 1), la explicación respecto a la transformación dinámica (González, 2009) de la molécula, es ”.... *el que estaba adelante pasa atrás y el que estaba arriba pasa abajo*”, es claro que el estudiante no tuvo en cuenta los grados propuestos para la rotación (90°), la explicación que otorga corresponde a un giro de 180° donde la posición de los átomos si correspondiera a justificación dada por el estudiante, la opción elegida por el estudiante es incorrecta.

Al contrastar el proceso realizado durante el Post-test, este es más elaborado y evidencia un cambio sustancial en del proceso planteado en el post-test:

*Post-test: “Lo que hice fue girar el fluor y este me quedó en la posición adelante y me quedó como la opción A, B, C. Luego me basé en el giro que realizó el OH estaba adelante me quedó atrás y luego miré la opción que me daba y así contesté que era la C”.*

El estudiante toma como eje de rotación y como referente el Flúor (ubicado en el plano horizontal) teniendo en cuenta que el giro es de 90°, efectúa la rotación angular sobre el eje X, quedando el Flúor adelante, las relaciones espaciales que establece son notorias “(...) *me base en el giro que realizó el OH estaba adelante me quedo atrás (...)*”, analiza los cambios ocurridos (en la molécula modelo) asociados a la nueva orientación de los átomos en el espacio, finalmente los compara con las opciones dadas. La opción que el estudiante eligió fue la correcta.

### *Conclusión preliminar*

Las explicaciones entorno a los procesos realizados por el estudiante con el fin de dar solución a los ejercicios planteados, evidencian conocimiento procedimental; se identifica en sus justificaciones las estrategias seguidas (diagrama que representa el giro, determinar la configuración absoluta de las moléculas, elegir el centro de giro, etcétera) lo interesante es que estas estrategias están asociadas con un análisis espacial previo. Algunas de estas estrategias le permitió resolver el ejercicio con éxito (establecer el enantiómero (S) de la fenfluramida). Los procesos que lleva a cabo durante el Pre-test y Post-test difieren significativamente, durante el Pre-test toma como referencia el diagrama, que ilustra el giro que debe realizar la molécula modelo, sin embargo, la transformación realizada fue incorrecta, Tversky (2004, p.214)

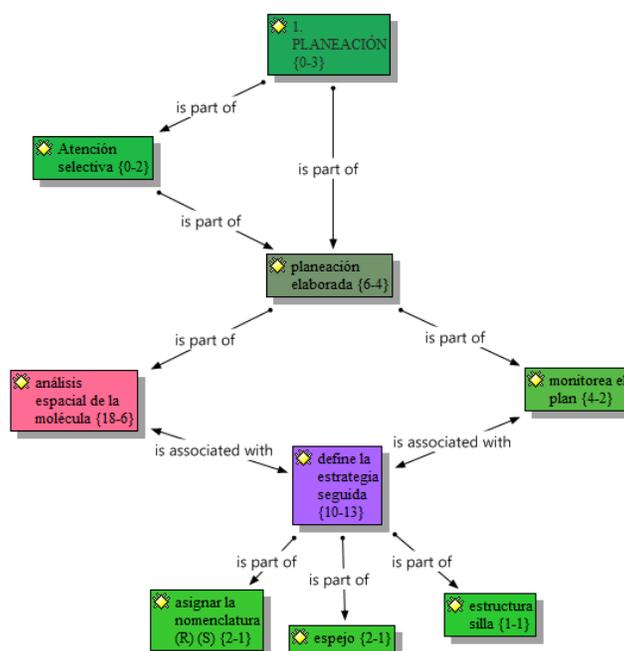
argumenta que las tareas que requieren de rotar o girar un objeto son más difícil, ya que requieren de varios pasos; esto se debe a la cantidad de detalles y características deben tenerse en cuenta cuando se realiza una rotación.

Por el contrario el proceso de rotación y visualización que desarrolló durante el post-test incluye, siguiendo a Briggs & Bodner, (2005) dos componentes importantes: el uso de un referente (átomo de Flúor, diagrama del ejercicio), y el establecimiento de las relaciones espaciales (análisis de los referentes en este caso los átomos de la molécula modelo).

#### ***4.2.3 Análisis Regulación***

##### *Sub-categoría: Planeación*

La planeación es un proceso que se realiza antes de resolver una tarea o meta escolar. Brown (citada por Tamayo 2006, p.3), establece que la planeación implica “Selección de estrategias apropiadas y la localización de factores que afectan el rendimiento; la predicción, las estrategias de secuenciación y la distribución del tiempo o de la atención selectiva antes de realizar la tarea; consiste en anticipar las actividades, prever resultados, enumerar pasos. El análisis en torno a las características de los planes elaborados por el E.1 se presenta en la red semántica.4, donde se destaca la atención selectiva, la elección de la estrategia seguida y en algunos casos el monitoreo que realiza del mismo, estas características nos permitió definirlos como planes elaborados.



Red Semántica.4 planeación E.1: planes elaborados, donde se evidencia principalmente, la atención selectiva y la elección de estrategias a partir del análisis espacial que realiza.

*Análisis de los planes elaborados por el E.1, durante la solución de tareas específicas*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.1
Isómeros del ciclohexano	P.2: Describe detalladamente, los pasos o secuencias que llevaste a cabo para resolver el ejercicio. Justifica tu respuesta.	<i>PasoA: Realizar la estructura de silla ya que esta es la base para resolver el ejercicio. PasoB: Ubicar las posiciones axiales y ecuatoriales ya sea arriba o abajo y de ahí pasar a ubicar los metilos. PasoC: Realizar la interconversión para llegar al isómero más estable.</i>
Localizar y dibujar el enantiómero (S) de la Fenfluramina	P.1.2 Describir ¿Cuál fue la ruta que siguió para poder desarrollar los ejercicios anteriores?	<i>A: Mire los átomos unidos al carbono, todos eran diferentes. B: Dar prioridad a los átomos para darme cuenta si era (S) o (R) C: Me fije en la posición de que el átomo con prioridad 4 estuviera atrás y si no era así realizar el respectivo giro.</i>

Tabla 15 Estructura y características de los elaborados planteados por el E.1

La tabla 15, resume los planes que el estudiante diseñó teniendo en cuenta el objetivo de la tarea, por ejemplo, para determinar los isómeros más estables del *cis* y *trans* 1,4 dimetil ciclohexano el estudiante E.1 elabora el siguiente plan:

*“...Realizar la estructura de silla ya que esta es la base para resolver el ejercicio”*

Teniendo en cuenta los conceptos estudiados durante la Unidad Didáctica, la estructura de silla del ciclohexano (estructura plana) se dibuja cuando se estudia los isómeros de un ciclohexano di-sustituido; por lo tanto ante el ejercicio propuesto es clave que el estudiante inicialmente dibuje la estructura de silla (estrategia seguida), luego el análisis espacial que realiza a la estructura de silla le permitió:

*“.....ubicar las posiciones axiales y ecuatoriales ya sea arriba o abajo y de ahí pasar a ubicar los metilos”.*

Para situar los grupos metilos en las posiciones 1,4 en ambos isómeros, el estudiante debe visualizar en qué posición y orientación debe ubicarlos *“(...) ya sea arriba o abajo”*, la orientación de los enlaces en el espacio requieren de atención por parte del estudiante, porque al realizar la interconversión las posiciones se invierten, con el fin de poder obtener el isómero más estable esto es justamente lo que expresa en el paso C *“Realizar la interconversión para llegar al isómero más estable”.*

Teniendo en cuenta lo antes planteado, existe un resultado (+) entre la aplicación de los conceptos estudiados y la resolución exitosa del ejercicio, este plan se define como elaborado, donde el análisis espacial (atención selectiva) y la elección de una estrategia coherente sustentada en los conceptos estudiados, le permitió resolver adecuadamente el ejercicio. Tal y como se ilustra en la Figura 10, ante la pregunta: *¿Cuál es el isómero más estable para el cis 1,4 dimetil ciclohexano?* El estudiante discute que: *“Ambos son iguales ya que ninguno presenta posiciones e, e que es la más estable”.*

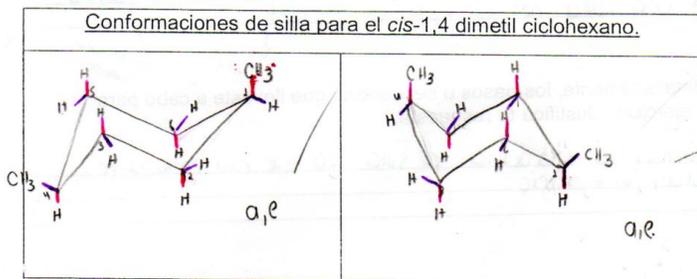


Figura 10. Isómeros del Cis 1,4 dimetil ciclohexano, la figura representa la estructura de silla y su interconversión, realizada con el fin de identificar y comparar la ubicación de los grupos metilos después de la interconversión (por eso las siglas a (axil) y e (ecuatorial)).

Cabe resaltar que en ambas figuras (10 y 11) se evidencia la manera en que el estudiante usa diferentes colores para guiarse y distinguir la ubicación de los enlaces axiales y ecuatoriales (axiales: rosado y ecuatoriales: azul)

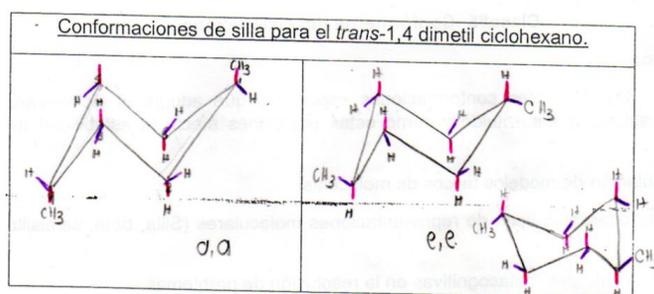


Figura 11. Isómeros Trans 1,4 dimetil ciclohexano, la figura representa la estructura de silla inicial y la interconversión que el estudiante realiza con el fin comparar y analizar la posición de los grupos metilos.

Para el caso del *Trans* 1,4 dimetil ciclohexano el estudiante argumenta que el isómero más estable es: “(...) el e, e ya que los grupos voluminosos presentan las posiciones ecuatoriales”. Lo anterior se relaciona adecuadamente con los conceptos estudiados.

Continuando con el análisis de los planes elaborados, cuando se le pide que localice el enantiómero (S) de la fenfluramina, el estudiante explica los pasos llevados a cabo: “A: Miré los átomos unidos al carbono, todos eran diferentes”, el análisis espacial tiene como finalidad determinar si la molécula es quiral o aquiral, luego elige la estrategia a seguir “B: Dar prioridad a

los átomos para dar cuenta si era (S) o (R)”, para conocer la configuración absoluta<sup>7</sup> de la molécula inicial, el estudiante propone asignar prioridades a los átomos y grupos de la molécula, para poder determinar qué enantiómero tiene y cuál es el que debe dibujar.

Adicionalmente expresa “C: Me fije en la posición de que el átomo con prioridad 4 estuviera atrás y si no era así realizar el respectivo giro”, la declaración anterior evidencia una conexión notable con los conceptos previamente estudiados, tal y como se ilustra en la figura 12, el E.1 efectúa el giro de tal manera que el átomo de menor prioridad (Hidrógeno) quede lejos del observador.

2. Localiza el centro estereogénico de la Fenfluramina, el enantiómero S se usa como supresor el apetito, fue retirado del mercado en 1997 debido a los daños que causa en el corazón. ¿Dibuja el enantiómero S de la fenfluramina?

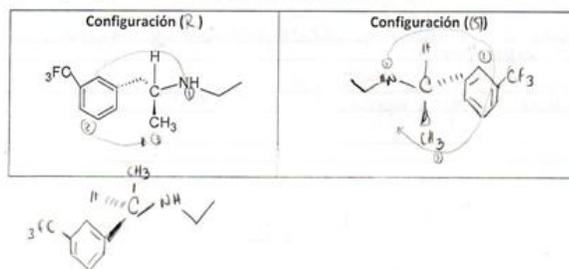


Figura 12. Dibujos realizados por el E.1 para determinar el enantiómero (S) de la Fenfluramida, es claro el giro que realiza (re-dibuja la molécula inicial, ubicando el Hidrógeno lejos del observador)

Aunque el plan del estudiante es apropiado, consistente y acorde con el objetivo del ejercicio, se encuentra un resultado (-) entre la aplicación de los conceptos y la solución del ejercicio, identifica el enantiómero pedido, al estudiar la molécula que re-dibuja el giro que realiza no es adecuado; se cumple la condición de que el átomo de menor prioridad quede ubicado en la parte de atrás, pero la posición de los demás grupos unidos al carbono no es adecuada.

Relacionamos lo anterior con lo encontrado por Kuo et al.(2004) Citados por Bucat & Mocerino, (2009, p.25) al estudiar los procesos que realizan los estudiantes, cuando resuelven

<sup>7</sup> El sistema (R) (S) o de Chan-Ingold-Prelog, es un sistema que permite determinar la configuración absoluta de una molécula quiral, asignando prioridades a los átomos o grupos o unidos al carbono, basándose en el número atómico.

ejercicios que requieren determinar la configuración R-S de una molécula, estos autores señalan “Los estudiantes encontraron que las tareas más fáciles eran cuando el grupo de menor prioridad estaba orientado hacia la parte posterior o lateral de la representación molecular en lugar de la parte superior o en la parte delantera”. Lo anterior nos aproxima a una posible explicación respecto a la dificultad que tienen los estudiantes al resolver este tipo de ejercicios, especialmente cuando deben rotar la molécula, de tal manera que el átomo de menor prioridad quede ubicado en la parte de atrás.

*Análisis de los planes desarrollados durante el Pre-test - Post-test*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.1</b>
Identificar la imagen especular (Pre-test)	P.7: Describe el plan que elaboraste.	<p><i>Paso#1: Tomar un espejo y colocarlo frente a la molécula modelo como se indica en la figura.</i></p> <p><i>Paso#2: Observar y detallar de que manera cambian las posiciones de los átomos.</i></p> <p><i>Paso#3: Pasar a dibujar la molécula reflejada en el espejo.</i></p> <p><i>Paso#4: Mirar como quedaron las posiciones de los átomos si realmente cambia o no.</i></p>
Identificar la imagen especular (Post-test)	P.7: Describe el plan que elaboraste.	<p><i>Paso#1: Tomar la molécula modelo reflejarla en el espejo.</i></p> <p><i>Paso#2: Dibujarla tal y como lo muestra el espejo.</i></p> <p><i>Paso#3: Revisar si la imagen quedó bien dibujada o si faltó algún elemento o grupo.</i></p>

Tabla 16 Resumen de los planes propuestos durante el Pre-test – Post-test.

La Tabla 16, presenta los planes elaborados por el E.1 en el Pre-test y el Post-test, ante la tarea de dibujar la imagen especular de una molécula dada. Al examinar ambos planes no se observa un cambio significativo en su estructura. La estrategia permanece (usar un espejo para poder dibujar la imagen especular de la molécula modelos) lo cual es consistente con el objetivo del ejercicio que es determinar ¿cuál de las 4 opciones dadas corresponde a la imagen especular de la molécula modelo?

*Pre-test Paso#1: Tomar un espejo y colocarlo frente a la molécula modelo como se indica en la figura.*

Post-test *Paso#1: Tomar la molécula modelo reflejarla en el espejo.*

El análisis espacial que realizan a la molécula modelo también permanece:

Pre-test *Paso#2: Observar y detallar de que manera cambian las posiciones de los átomos.*

Post-test *Paso#2: Dibujarla tal y como lo muestra el espejo.*

En ambos pasos el estudiante observa detalladamente cómo cambian las posiciones de los átomos en el espejo, “*Dibujarla tal y como lo muestra el espejo*” haciendo referencia a la correspondencia espacial que debe conservarse. Así mismo, el monitoreo que realiza permanece en ambos planes.

Pre-test *Paso#4: Mirar como quedaron las posiciones de los átomos si realmente cambia o no.*

Post-test *Paso#3: Revisar si la imagen quedó bien dibujada o si faltó algún elemento o grupo.*

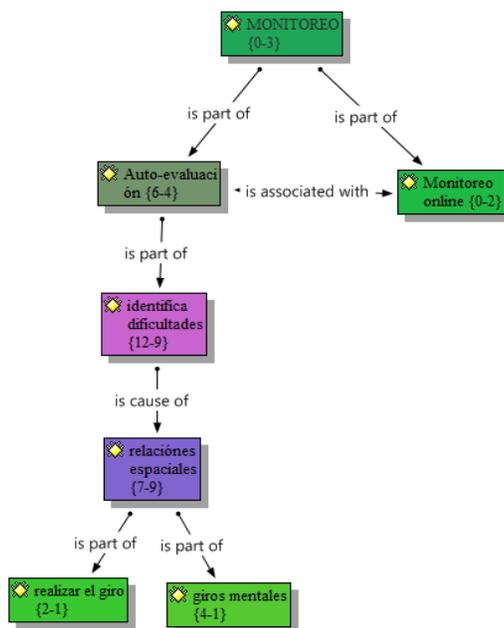
En ambos ejercicios se obtuvo un resultado (+) entre la aplicación de los conceptos y la resolución del ejercicio. El estudiante no tuvo dificultades al dibujar y seleccionar la imagen especular de la molécula modelo.

### *Conclusión preliminar*

Los datos analizados previamente, revelan procesos de planeación por parte del estudiante, estos planes se caracterizan por presentar una estructura sólida y coherente, constituidos por más de tres pasos, lo cual nos permite definirlos como elaborados. Tamayo (2007, p.109) señala que la planeación “*Implica la atención selectiva antes de realizar la tarea*”; esta atención selectiva se manifiesta en el análisis espacial que realiza a la molécula, lo cual se relaciona con las estrategias que define y con el tipo de ejercicio que debe resolver (dibujar la estructura de silla, aplicar un plano de espejo, determinar la configuración absoluta, etcétera) en algunos planes monitorea su ejecución.

### Sub-categoría: Monitoreo

El monitoreo es una acción que tiene lugar durante el desarrollo de una tarea, el estudiante revisa el proceso que está llevando a cabo para modificar o ajustar las estrategias seleccionadas, identificando las dificultades u obstáculos que surgen mientras resuelve el ejercicio propuesto. Brown (citada por Tamayo 2006, p.3) establece que el monitoreo “Se refiere a la posibilidad que se tiene, en el momento de realizar la tarea, de comprender y modificar su ejecución, por ejemplo, realizar auto-evaluaciones durante el aprendizaje, para verificar y revisar las estrategias seguidas”. El análisis que a continuación se despliega (red semántica 5) se basa principalmente en lo que hemos denominado como monitoreo *online* (auto-evaluaciones), donde el estudiante identifica las principales dificultades que se presentaron mientras resolvía los ejercicios en estereoquímica.



Red Semántica 5. Monitoreo E.1 monitoreo online, hace referencia a las auto-evaluaciones realizadas por el estudiante durante la resolución de un ejercicio, identificando las dificultades o obstáculos presentados.

Análisis de las auto-evaluaciones realizadas durante la solución de ejercicios en estereoquímica

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.1
Giro de 90° eje x 2D	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>Se me dificultó un poco hacerlo porque en el papel es algo duro no hay como tener el modelo para realizar el giro.</i>
Localizar centro quirales en biomoléculas	P.2: Escribir ¿cuáles fueron las 3 principales dificultades (u obstáculos) que se presentaron, mientras resolvías los ejercicios propuestos?	<i>Mirar los carbonos quirales: ¿Por qué? Cuando se encuentra la molécula con su fórmula semidesarrollada o en esqueleto es un poco duro observar los carbonos quirales, hay que desarrollar la molécula para así, observar mejor los carbonos.</i>

Tabla 17 Auto-evaluaciones realizadas por el E.1 durante la solución de diferentes ejercicios en estereoquímica.

La Tabla 17, expone las expresiones que evidencian el proceso de auto-evaluación llevado a cabo por el E.1 relacionado con el reconocimiento de obstáculos o dificultades: “*Se me dificultó un poco hacerlo porque*”..., “*El principal obstáculo fue a la hora de responder la pregunta 6* ”(...), “*A la hora de realizar los diastereoisómeros: ¿Por qué? No sabía cómo había que girar el OH y el Hidrógeno*”....., etcétera. Lo anterior permite inferir que el estudiante si auto-evalúa su proceso, identificando las dificultades que se presentaron mientras resolvía los ejercicios propuestos.

El objetivo clave de las auto-evaluaciones yace en la oportunidad que tiene el estudiante de determinar los obstáculos que se presentan mientras resuelve una tarea propuesta, por ejemplo, cuando se le pide que rote una molécula en 2D 90° en el eje x, y que, además, explique las principales dificultades que se presentaron al resolver el ejercicio. El estudiante E.1 manifiesta que:

*“Se me dificultó un poco hacerlo porque en el papel es algo duro no hay como tener el modelo para realizar el giro”.*

Es claro que identifica la dificultad al momento de rotar la molécula en el papel, realizar este tipo de giros a un ángulo determinado, requiere conocimientos sobre lo que significan las transformaciones geométricas y sobre el sistema de coordenadas espaciales (González, 2009); el estudiante debe tener claro cómo realizar el giro en el eje propuesto y además debe establecer el

cambio en la posición y orientación de los átomos que componen una molécula. Este proceso requiere de una alta destreza espacial; el estudiante expresa que: “no hay como tener el modelo para realizar el giro”, lo anterior se relaciona con la importancia de tener un modelo físico para visualizar mejor la rotación de la molécula, al revisar la opción elegida para este ejercicio su respuesta fue incorrecta.

Continuando con el análisis, cuando se le pide que identifique los centro quirales de dos Biomoléculas representadas por medio de representaciones semi-desarrolladas, manifiesta que la dificultad que se presentó durante este ejercicio fue:

*“Mirar los carbonos quirales: ¿Por qué? Cuando se encuentra la molécula con su fórmula o semidesarrollada es un poco duro observar los carbonos quirales.....”.*

Propone una actividad para superar este obstáculo: “hay que desarrollar la molécula para así, observar mejor los carbonos”. Tal y como se ilustra en la Figura 13, el estudiante realiza las estructuras desarrolla de las dos Biomoléculas, para poder visualizar mejor la conectividad de los átomos o grupos y, así, identificar los centros quirales o estereogénicos, ya que en una formula semi-desarrollada no se pueden observar detalladamente todos los átomos o grupos unidos a un carbono. Lo anterior es consistente con los hallazgos de Bodner y Domin (2000) sobre la inhabilidad de muchos estudiantes universitarios para interpretar estructuras abreviadas con algunos átomos implícitos. Los autores encontraron que “los estudiantes que respondieron exitosamente la pregunta, tradujeron el dibujo del material de partida en un dibujo que mostrará todos los átomos de Hidrógeno del compuesto”. Esto es lo que justamente hace el estudiante E.1 para resolver el ejercicio de manera exitosa.

**Actividad individual:**

1. Localiza los centros estereogénicos en las siguientes Biomoléculas.

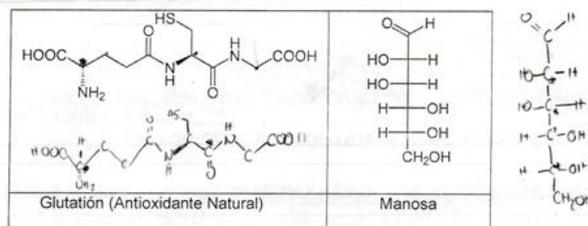


Figura 13. Identificación de carbonos quirales, en ambos dibujos se observa que el estudiante redibujada la molécula, con el fin de poder visualizar todos los átomos y grupos de la misma.

*Análisis del monitoreo llevado a cabo durante Monitoreo Pre-test - Post-test.*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.1</b>	<b>Solución del ejercicio</b>
Giro de 90° eje <i>x</i> 2D (Pre-test)	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>Se me dificultó un poco hacerlo porque en el papel es algo duro no hay como tener el modelo para realizar el giro.</i>	Incorrecta
Giro mental3D (Pre-test)	P.15: ¿Cuál crees que fue el principal obstáculos que se te presentó mientras resolvías la prueba? Explica tu respuesta.	<i>El principal obstáculo fue a la hora de responder la pregunta 6 no me acordaba que era una molécula quiral y lo otro fue realizar esos giros mentales.</i>	No responde
Giro de 90° eje <i>x</i> 2D(Post-test)	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>Al realizar el giro se me dificultó un poco darme cuenta donde quedaba, me toco utilizar la imaginación.</i>	Correcta
Giro mental (Post-test) 3D	P.15: ¿Cuál crees que fue el principal obstáculos que se te presentó mientras resolvías la prueba? Explica tu respuesta.	<i>Imaginarme como quedaría el compuesto después de hacerle el giro porque la verdad no tenía idea.</i>	Correcta

Tabla 18 Análisis del monitoreo realizado durante el Pre-test - Post-test.

La Tabla18, agrupa las declaraciones del E.1 en concordancia con el monitoreo que realiza antes y después de la intervención didáctica, de lo cual se puede deducir en ambos test la dificultad de realizar el giro de 90° de una molécula 2D en el eje *x* es permanente.

Pre-test E.1: *Se me dificulto un poco hacerlo porque en el papel es algo duro.*

Post-test E.1: *Al realizar el giro se me dificulto un poco darme cuenta donde quedaba, me tocó utilizar la imaginación.*

Es claro, entonces, que durante el pre-test el estudiante no pudo realizar el giro propuesto y manifestó la dificultad de hacerlo en el plano, al revisar la molécula que considera representa el giro realizado, encontramos que en el pre-test la opción elegida es incorrecta, pero la opción elegida en el post-test es correcta, es interesante resaltar que la dificultad en el post-test ya no radica en efectuar el giro, sino en determinar las nuevas relaciones espaciales, manifiesta que le toco usar la “*imaginación*”, lo cual traducimos como el proceso de visualización mental “*se me*

*dificultó un poco darme cuenta donde quedaba* “sobre, cómo luciría la molécula después de realizar el giro, la opción que eligió fue la correcta.

Caso similar ocurre cuando el estudiante debe girar mentalmente una molécula (3D) con la intención de que el Hidrógeno quede escondido, la principal dificultad que se presenta al realizar el giro y al determinar cómo queda la molécula después de tal rotación se evidencia en los siguientes enunciados:

Pre-test E.1: *“Realizar esos giros mentales”*.

Post-test E.1: *“Imaginarme como quedaría el compuesto después de hacerle el giro porque la verdad no tenía idea”*.

En el pre-test el estudiante no responde la pregunta y simplemente manifiesta la dificultad de realizar el giro mental, por el contrario durante el post-test la dificultad yace en poder visualizar (asociado con el proceso mental) cómo quedaría la molécula. El análisis anterior, permite concluir que si hubo un cambio en el desempeño del estudiante antes y después de resolver los ejercicios (ver Gráfica 1). Aunque en las respuestas del post-test sigue manifestando la dificultad que tiene al realizar giros mentales y giros a un ángulo determinado.

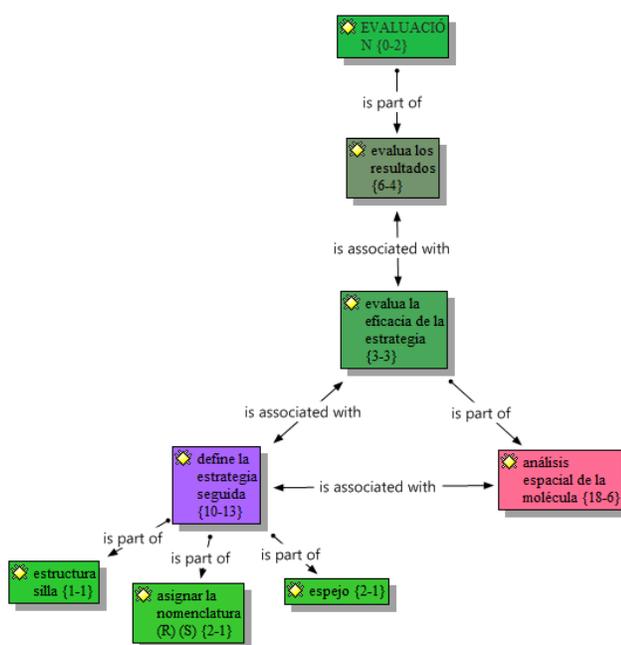
### *Conclusión preliminar*

Las respuestas proporcionadas por el estudiantes, evidencian monitoreo en su proceso cognitivo, mientras resuelven una tarea específica, las auto-evaluaciones le permiten identificar los obstáculos que indican en el desarrollo de la tarea; Angulo & Garcia (1997) plantean la importancia de generar actividades donde los estudiantes puedan auto-evaluarse y co-evaluarse activando procesos autorreguladores. Se concluye que el principal obstáculo que presenta se relacionan con el establecimiento de las relaciones espaciales (Bodner & Briggs, 2005), la orientación y ubicación de los átomos en una molécula inicial y cómo cambian estos componentes cuando se realiza una transformación dinámica de la molécula inicial.

Bucat & Mocerino (2009, p.24) señalan que los estudiantes presentan dificultades en tareas que requieren “la realización de una operación mental, tales como la rotación o reflexión de una imagen 3D”. No se evidencian modificaciones o rectificaciones respecto a las estrategias seguidas, lo cual impide realizar un monitoreo profundo sobre la utilidad o no de las estrategias que siguen para resolver el ejercicio.

*Sub-categoría: Evaluación*

La evaluación es una actividad que se realiza al final de la tarea escolar, tiene como objetivo evaluar los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia. Brown (citada por Tamayo, 2006, p.3) propone que la evaluación es “Realizada al final de la tarea, se refiere a la naturaleza de las acciones y decisiones tomadas por el aprendiz; evalúa los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia”. Las evaluaciones de los resultados obtenidos por el estudiante E.1 (red semántica 6), se derivan de la eficacia de las estrategias seguida para resolver los ejercicios, el análisis espacial que realiza se corresponde con la planeación y con las estrategias definidas según las características de la tarea.



Red Semántica. 6 Evaluación E.1: la evaluación de los resultados se vincula con la eficacia de la estrategia empleada para resolver diferentes ejercicios en el tema de estereoquímica.

*Análisis desde la eficacia de las estrategias seguidas y su relación con los planes elaborados*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.1</b>	<b>Plan que elaboran</b>
Señalar los centros quirales y dibujar la correspondiente imagen especular	P.2: ¿Por qué crees que las respuestas que diste son las correctas? Justifica tu respuesta.	<i>Creo que son correctos ya que me base en las explicaciones que la profesora dio, lo realice en base a mis apuntes y reforcé los conceptos que tenía.</i>	Criterios que tuvo en cuenta: El análisis espacial de la molécula, hibridación del Carbono $SP_3$
Dibujar enantiómeros-diastereoisómeros	P.2: Explica ¿Por qué considera que resolvió correctamente los ejercicios planteados en los puntos anteriores? P.3	<i>¿Por qué? Dibuje la imagen especular para tener el otro enantiómero, además cambié la posición del OH y el Hidrógeno.</i>	A: <i>Fijarme en los centros quirales, realizar su imagen especular a los enantiómeros.</i> B: <i>Cambiarle la posición al OH y al H y luego pasar a ser la respectiva imagen especular.</i>
Identificar el enantiómeros (S)Fenfloramida	P.2: Explica ¿Por qué considera que resolvió correctamente los ejercicios planteados en los puntos anteriores? Punto.2	<i>¿Por qué? Realice bien las prioridades trace para ver bien si eran (S) o (R) y como el hidrógeno estaba en el plano hice el giro para que me quedara atrás.</i>	A: <i>Mire los átomos unidos al carbono, todos eran diferentes.</i> B: <i>Dar prioridad a los átomos para dar cuenta si era (S) o (R)</i> C: <i>Me fijé en la posición de que el átomo con prioridad 4 estuviera atrás y si no era así realizar el respectivo giro.</i>

Tabla 19 Declaraciones relacionadas con el proceso de evaluación vinculado con la eficacia de la estrategia, definida dentro de los planes elaborados.

La tabla 19, resume las expresiones que permiten develar la evaluación de las estrategias seguidas en términos de eficacia, y su relación con el plan que elabora, la evaluación de los resultados se apoyan en la estrategia elegida para resolver un ejercicio específico; por ejemplo, cuando el estudiante debe dibujar los enantiómeros y diastereoisómeros e indicar la configuración de sus centros quirales, considera que resolvió adecuadamente el ejercicio, porque:

*“Dibuje la imagen especular para tener el otro enantiómero, además cambié la posición del OH y el Hidrógeno”.*

Una de las estrategias que el estudiante elige dentro del plan es “A: Fijarme en los centros quirales, realizar su imagen especular a los enantiómeros”. Esta estrategia es apropiada, y le permitirá dibujar el primer enantiómero; además del enantiómero, debe dibujar los diastereoisómeros<sup>8</sup>, ya que la molécula posee dos centros estereogénicos. Para determinar y dibujar los diastereoisómeros se altera la configuración de un enantiómero, este conocimiento espacial se refleja cuando el estudiante plantea:

“B: Cambiarle la posición al OH y al H y luego pasar a ser la respectiva imagen especular”.

La estrategia propuesta por el estudiante y su conocimiento espacial es coherente, sin embargo, al no establecer la configuración de los centros quirales no podrá identificar los enantiómeros y los diastereoisómeros. Existe entonces un resultado (-) entre la aplicación de los conceptos estudiados y los resultados obtenidos.

Aunque evalúa la eficacia de la estrategia seguida no es consciente de que no resolvió completamente el ejercicio. Tal y como se evidencia en la Figura 14.

3. Dibuja los enantiómeros y los diastereoisómeros para el siguiente compuesto indicando la configuración de sus centros quirales.

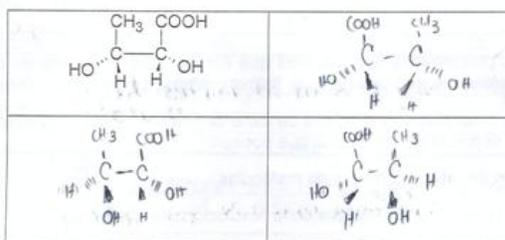


Figura 14 Dibujos de los enantiómeros y diastereoisómeros del ácido 2,3 dihidroxi, 4 metil butanoico, tal y como se visualiza en el grafico, el estudiante no establece la configuración absoluta de las moléculas.

Continuando con el análisis, cuando se le propone dibujar el enantiómero (S) de la Fenfluramida el estudiante considera que su respuesta es correcta por qué:

“Realice bien las prioridades las trace para ver bien si eran (S) o (R)”

<sup>8</sup> Diastereoisómeros: Enantiómeros que nos imágenes especulares.

Teniendo en cuenta el plan que elabora, en los pasos A y B se evidencia el análisis espacial que lleva a cabo y la estrategia que sigue:

A: *Mire los átomos unidos al carbono, todos eran diferentes.*

B: *Dar prioridad a los átomos para darme cuenta si era (S) o (R)*

Retomando lo anterior, el sistema (R) (S) permite asignar prioridades (basándose en el número atómico) de los átomos o grupos del una molécula, un ejemplo concreto lo provee la figura 12, donde el estudiante asigna la nomenclatura (R) (S) a la molécula modelo, así mismo, verifica: “.....y como el hidrógeno estaba en el plano hice el giro para que me quedará atrás”.

2. Localiza el centro estereogénico de la Fenfluramina, el enantiómero S se usa como supresor el apetito, fue retirado del mercado en 1997 debido a los daños que causa en el corazón. ¿Dibuja el enantiómero S de la fenfluramina?

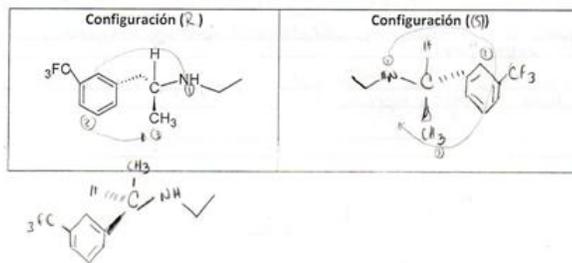


Figura 15 Dibujos realizados por el E.1 para determinar el enantiómero (S) de la fenfluramida. El dibujo que se encuentra fuera de los cuadros representa la rotación que realiza con el fin de que el Hidrógeno quede ubicado en la parte de atrás.

El giro hecho por el E.1 no es exitoso, aunque el plan que elabora y la estrategia que elige es la adecuada el estudiante no es conciente de que su conocimiento espacial es restringido. Gardner (2001, p.141) señala que “Este tipo de tareas de transformación puede ser exigente, ya que se requiere que uno "rote mentalmente" formas complejas con número arbitrario de giros y vueltas”. Se encuentra también que en ocasiones no evalúa la estrategia seguida en términos de eficacia, simplemente evalúa el producto, por ejemplo cuando se le pregunta ¿Por qué crees que las respuestas que diste son las correctas? al dibujar la imagen especular de diferentes moléculas, justifica tu respuesta:

*“Creo que son correctos ya que me basé en las explicaciones que la profesora dio, lo realice en base a mis apuntes y reforcé los conceptos que tenía”.*

Lo que causa interés en la respuesta es la ausencia de reflexión sobre su propio proceso cognitivo, considera que están correctas porque sigue las explicaciones de la profesora y los

apuntes de su cuaderno; el estudiante no es conciente de cómo y por qué logro desarrollar exitosamente la tarea.

*Análisis en torno a las evaluaciones realizadas durante el Pre-test y el Post-test*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones Evaluación E.1	Plan que elabora E.1
Imagen especular (Pre-test)	P.8: ¿Por qué piensas que estos pasos te permitieron resolver el ejercicio?	<i>Como se sabe un plan nos permite realizar mejor las cosas siguiendo estos pasos me di cuenta de que seguirlos fue buena idea para que llegue a los que se me había propuesto.</i>	<i>Paso #1: Tomar un espejo y colocarlo frente a la molécula modelo como se indica en la figura.</i>  <i>Paso#2: Observar y detallar de que manera cambian las posiciones de los átomos.</i>
	P.9: ¿Qué pasos eliminarías?	<i>No eliminaría ningún paso.</i>	<i>Paso#3: Pasar a dibujar la molécula reflejada en el espejo.</i>
	P.10: ¿Qué pasos nuevos propondrías?	<i>No responde.</i>	<i>Paso#4: Mirar como quedaron las posiciones de los átomos si realmente cambia o no.</i>
Imagen especular (Post-test)	P.8: ¿Por qué piensas que estos pasos le permitieron resolver el ejercicio?	<i>Estos pasos me permitieron resolver el ejercicio ya que los seguí tal y como los escribí corrobore que si estuvieran.</i>	<i>Paso#1: Tomar la molécula modelo reflejarla en el espejo.</i>  <i>Paso#2: Dibujarla tal y como lo muestra el espejo.</i>
	P.9: ¿Qué pasos eliminarías?	<i>No eliminaría ningún paso.</i>	<i>Paso#3: Revisar si la imagen quedo bien dibujada o si falto algún elemento o grupo.</i>
	P.10: ¿Qué pasos nuevos propondrías?	<i>Propondría elaborar un modelo tridimensional en el primer paso para que sea más fácil girar la molécula y así verla reflejada en el espejo.</i>	

Tabla 20 Análisis en torno a las evaluaciones realizadas durante el Pre-test y el Post-test, en relación con los planes elaborados.

La Tabla 20, expone las declaraciones del estudiante en cuento a los resultados obtenidos y su relación con los planes aplicados para la solución de un ejercicio específico; las evaluaciones se fundamentan principalmente en la estrategia elegida ante la tarea de dibujar la imagen especular de una molécula en 3D, el plan incluye: la elección de una estrategia (espejo) “Tomar un espejo y colocarlo frente a la molécula modelo como se indica en la figura”, análisis espacial de la molécula para poder determinar y conservar las relaciones espaciales “Observar y detallar de que manera cambian las posiciones de los átomos”. Y, además, se monitorea el plan ejecutado “Mirar

como quedaron las posiciones de los átomos si realmente cambia o no”, con el fin de comprobar si se realizó de manera apropiada.

Cuando se le pregunta ¿Por qué piensas que estos pasos le permitieron resolver el ejercicio? Responde:

*“Como se sabe un plan nos permite realizar mejor las cosas siguiendo estos pasos me di cuenta de que seguirlos fue buena idea para que llegue a los que se me había propuesto”.*

Argumenta que seguir el plan elaborado le permitió desarrollar de manera exitosa la tarea. Cuando se le pregunta por ¿Qué pasos eliminarías? Responde que: *“No eliminaría ningún paso.”* o ¿Qué pasos nuevos propondrías? No responde.

Durante el post-test el estudiante propone un plan elaborado, define la estrategia *“Tomar la molécula modelo reflejarla en el espejo”*, aplica la el plano de espejo *“Dibujarla tal y como lo muestra el espejo”*. Y monitorea que la molécula reflejada guarde las relaciones espaciales *“Revisar si la imagen quedó bien dibujada o si faltó algún elemento o grupo”*.

Cuando se le pregunta ¿Por qué piensas que estos pasos le permitieron resolver el ejercicio? Responde: *“Estos pasos me permitieron resolver el ejercicio ya que los seguí tal y como los escribí corrobore que si estuvieran”*. Por el contrario, cuando se le pregunta en el post-test ¿Qué pasos nuevos propondrías? Responde: *“Propondría elaborar un modelo tridimensional en el primer paso para que sea más fácil girar la molécula y así verla reflejada en el espejo”*. Manifiesta la importancia de usar modelos físicos de moléculas, estos modelos brindan la posibilidad de visualizar la ubicación y orientación que asumen los átomos o grupos en el espacio; por lo tanto el estudiante al colocar un espejo frente a la molécula 3D podrá ver y dibujar adecuadamente las relaciones espaciales entre la molécula modelo y la molécula reflejada. En ambas tareas, existe un resultado (+) entre la aplicación de los conceptos y la resolución del ejercicio.

### *Conclusión preliminar*

Los análisis anteriores evidencian procesos evaluativos después de resolver diferentes ejercicios en estereoquímica. Sus respuestas se sustentan en la eficacia de la estrategia que elegida y en el análisis espacial que expresa al justificar porque considera que desarrolló correctamente los ejercicios, finalmente se establece una relación entre los planes que elabora y la evaluación de la estrategia que elige.

Cuando se contrastan los resultados obtenidos con la seguridad de las respuestas dadas por el estudiante, se encuentra que en algunos de los ejercicios la relación entre la aplicación de los conceptos estudiados y la solución del problema es (-), esto evidencia que el estudiantes no es conciente si en realidad la estrategia seguida y la ejecución de la misma fue satisfactoria. Una posible explicación se relaciona con los limitados tiempos que se emplean para generar espacios de reflexión; además para incorporar la reflexión metacognitiva en el aula se requiere de un tiempo prolongado. Lo anterior se relaciona con lo concluido por Pulmones (2007, p.174) al señalar que un “...factor que podría afectar la demostración de los comportamientos metacognitivos de los estudiantes era el tiempo asignado en la realización de las tareas”.

### *Conclusión*

#### *Categoría Metacognición*

##### Sub-categoría Consciencia E.1

- Las diferentes preguntas metacognitivas incluidas dentro de la unidad didáctica, permitieron identificar la toma de conciencia del estudiante mientras resuelve ejercicios en estereoquímica. Se evidencia la toma de conciencia del estudiante sobre los objetivos del ejercicio y, así mismo, sobre el proceso que lleva a cabo para resolverlo, en tareas que requieren la rotación de una molécula 3D 180° en el eje Y. Brown & Sullivan (1987) señalan que una de las características de un modelo de instrucción que promueva la metacognición es justamente “aumentar la consciencia de los estudiantes de las demandas de la tarea”.

- La conciencia sobre su desempeño en general es mínima, sin embargo en tareas específicas reconoce su desempeño identificando aquellos factores que incidieron en la solución de ejercicios que involucran la rotación mental de una molécula 3D; lo anterior se relaciona con lo propuesto por Monereo (1995:) respecto a la importancia de desarrollar la toma de conciencia de los estudiante frente a sus conocimientos, y sobre cómo son llevadas a cabo las acciones que intervienen en un proceso cognitivo. Podemos concluir que ciertas preguntas metacognitivas favorecen la toma de conciencia del estudiante mientras resuelve ejercicios en estereoquímica.

#### Sub-categoría Conocimiento E.1

- Entendiendo el conocimiento declarativo como un saber qué (Kuhn, 2000), de tipo intra-individual, que le permite al estudiante identificar y expresar qué sabe, qué no sabe y por qué. Este conocimiento es evidente cuando el estudiante puede identificar qué sabe y por qué respecto a los conceptos estudiados durante el tema de estereoquímica (isómeros estructurales, geométricos, etc.). Así mismo, identifica aquellos factores que inciden de manera negativa en el desarrollo de algunos ejercicios (realizar proyecciones Newman, conformación de compuestos cíclicos, etc.) es claro que reconoce su dificultad al establecer las relaciones espaciales de una molécula cuando se pasa de una representación molecular a otra.
- Se resalta la opinión del estudiante respecto a la importancia de que el docente pueda conocer las dificultades que se pueden presentar cuando se enseña un tema específico, identificándolas por medio de la generación de espacios donde el estudiante pueden expresarse libremente qué está haciendo y por qué lo está haciendo . Rahman, Jumani, Ajmal, Hasan & Abbasi (2010) concluyen:
  - “que para la práctica en el aula la medida de las habilidades metacognitivas de los estudiantes puede ayudar a los maestros a saber qué tan bien los estudiantes aprenden la ciencia con el fin de que los maestros puedan ayudar a los estudiantes a mejorar sus habilidades” (p.5)

- Al analizar las respuestas del estudiante respecto a los procesos llevado a cabo para resolver un ejercicio de estereoquímica, el conocimiento procedimental “...conocimiento respecto a cómo se hacen las cosas, de cómo suceden” (Tamayo, 2007) es reducido. Aunque el estudiante define los pasos e incluso la estrategia a seguir para abordar un ejercicio (transformación de representaciones 2D-Fischer) tales medios son deficientes, sus explicaciones se soportan en la estrategia elegida y en el análisis espacial que realiza (revisar la configuración absoluta, centro de giro, etc.) el estudiante no es consciente de la efectividad de tal estrategia durante la solución del ejercicio.
- Se evidencia además, un cambio sustancial en los procesos llevados a cabo durante el Pre y Post-test cuando debe determinar el giro realizado por una molécula  $90^\circ$  en el eje X, lo que impide identificar si existe un conocimiento procedimental estable. Por último Schraw & Moshman (1995) indican que “los estudios didácticos respaldan la importancia de ayudar a los estudiantes a aumentar su conocimiento procedimental para mejorar su desempeño en la resolución de problemas”.

#### Sub-categoría Regulación E.1

El diseño de las diferentes actividades metacognitivas bajo un modelo constructivista (Martí, 1995, Tamayo, 2006) permitió establecer los procesos metacognitivos o lo que para Pulmones (2007) evidencian un comportamiento metacognitivo. Por su parte Brown & Sullivan (1987) consideran que la regulación de la actividad cognitiva significa; que el estudiante planea, monitorea y evalúa. Se discuten entonces, estos tres componentes durante la resolución de ejercicios en estereoquímica:

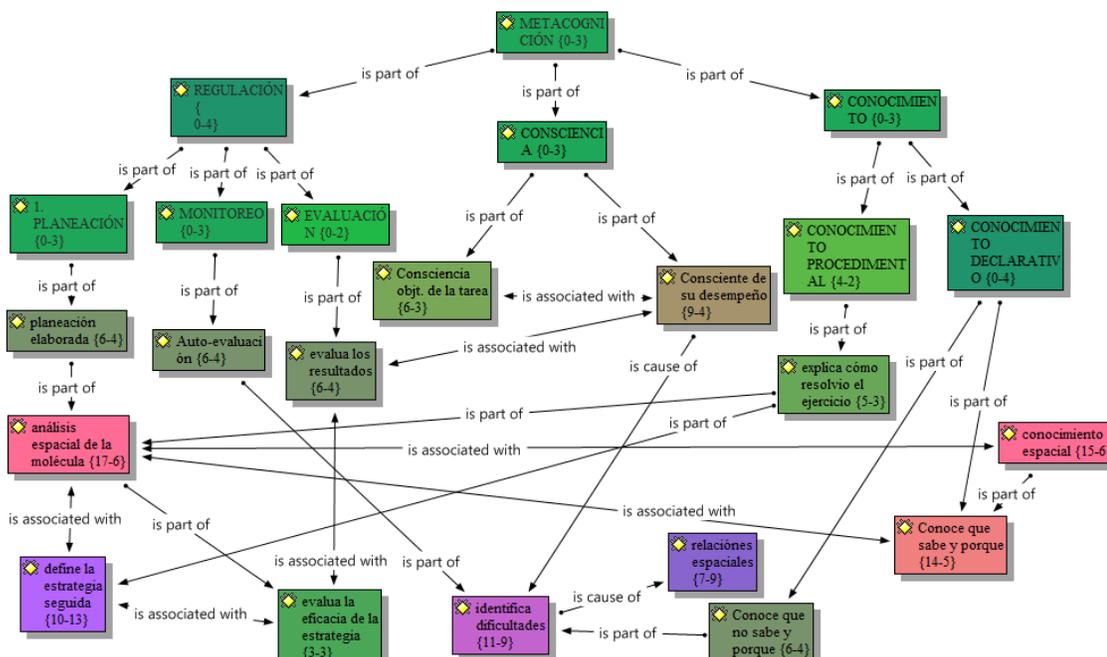
- Abordamos como primer componente la planeación Brown & Sullivan (1987), este proceso inicial permite establecer una serie de pasos antes de abordar el ejercicio y la selección estrategia apropiadas. La atención selectiva (Tamayo, 2007) que realiza se manifiesta en el análisis espacial de las moléculas y de allí se deriva la estrategia, la cual depende específicamente de la tarea (Dibujar los conformeros del ciclohexano en la representación de silla, determinar la imagen especular de una molécula, identificar un

enantiómero, etc.) se evidencia en algunos pasos el monitoreo que efectúa de la estrategia seguida. Los planes construidos por el estudiante presentan una estructura lógica lo cual nos permite definirlos como elaborados y apropiados, al contribuir con el desarrollo exitoso de la tarea.

- Un segundo componente es el monitoreo, actividad realizada mientras se resuelve un ejercicio específico. Se evidencia cuando el estudiante tiene la oportunidad de auto-evaluarse (Angulo & Garcia, 1995) estas auto-evaluaciones proporcionan información valiosa respecto a la comprensión de la tarea, y a la detección de los obstáculos que inciden en el desarrollo del ejercicio. Las dificultades que presenta el estudiante surgen durante las transformaciones dinámicas (Giros mentales de moléculas, giros a diferentes ángulos y asignar configuración R-S) de manera específica durante el proceso mental de visualización (Bonder & Briggs, 2005) al determinar las nuevas relaciones espaciales que asumen los grupos o átomos de la molécula transformada. No se evidencia modificaciones o rectificaciones respecto a las estrategias seguidas, sugerimos que esto se debe a los reducidos tiempos escolares.
- Finalmente la evaluación, acción que se realiza al finalizar el ejercicio, donde se evalúa los resultados del plan (Brown & Sullivan, 1987) y la eficacia de las estrategias (Tamayo, 2007), las respuestas del estudiante se sustentan en la eficacia de las estrategias seleccionadas dentro de los planes elaborados, y en el análisis espacial que realiza de la molécula para evaluar los resultados obtenidos (identificar los centros estereogénicos, dibujar la imagen especular de una molécula y localizar un enantiómero, etc.) Aunque se establece una relación entre los planes que elabora y la evaluación de la estrategia empleada, al analizar la seguridad de las respuestas, el estudiante no es consciente de que en algunos ejercicios (identificar y asignar nomenclatura R-S) la estrategia seguida no le permitió resolverlos de manera adecuada.

La caracterización de los procesos metacognitivos que lleva a cabo el estudiante durante la resolución de ejercicios en estereoquímica, se presenta en la red semántica. 9, está red respalda lo propuesto por diversos autores (Flavell, 1987; Martí, 1995; Schraw & Moshman, 1995) respecto a las relaciones que se establecen entre el conocimiento que una persona tiene sobre sus

procesos cognitivo y la regulación que puede llegar a ejercer; está relación entre el conocimiento y la regulación de la cognición no es independiente uno del otro. Consideramos que estas experiencias metacognitiva, producto de las actividades generadas por el docente, le brindan la oportunidad al estudiante de hacer un análisis conciente de su propio proceso de aprendizaje y de su desempeño.



Red Semántica 9. Caracterización de los procesos metacognitivos del E.1, al resolver ejercicios en estereoquímica.

### 4.3 Análisis pensamiento Viso-Espacial

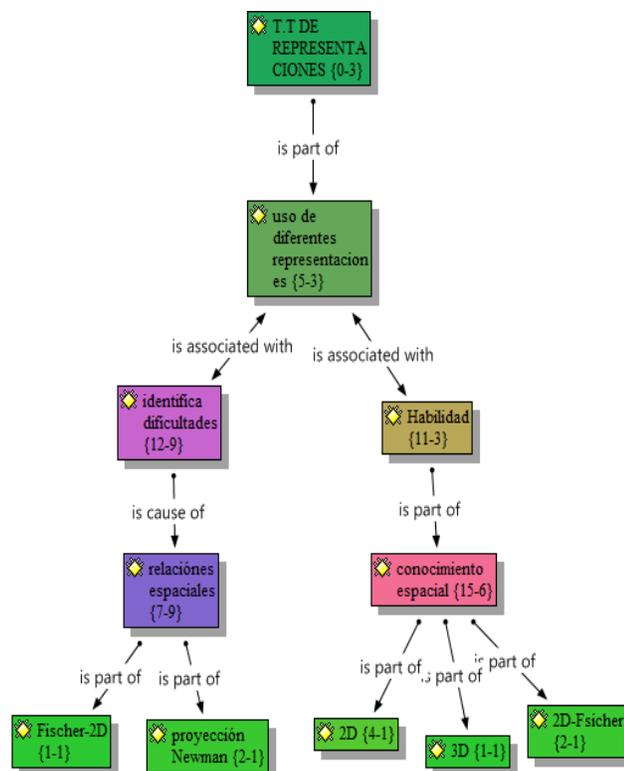
El pensamiento viso-espacial involucra el uso de la visión para poder percibir los objetos y elementos que se encuentran en el espacio tridimensional que nos rodea. Este tipo de pensamiento es especialmente importante para el aprendizaje de conceptos en química dada la naturaleza abstracta que caracteriza esta ciencia. Ubicamos específicamente el estudio de la estereoquímica en: a) el nivel simbólico, donde el estudiante debe interpretar los símbolos que representan los átomos y grupos presentes en una representación molecular y b) en el nivel microscópico donde se estudia y visualiza las características tridimensionales de las moléculas.

Para Mathewson (1998, p. 34) el pensamiento viso-espacial incluye “la visión-uso de los ojos para identificar, localizar y pensar sobre los objetos y sobre nosotros mismos en el mundo, la formación, inspección, transformación y mantenimiento de las imágenes en la mente en ausencia de un estímulo visual”. A continuación se estudia la relación entre el aprendizaje de conceptos en estereoquímica y las habilidades viso-espaciales que intervienen en el desempeño de los estudiantes mientras resuelven ejercicios en estereoquímica.

#### ***4.3.1 Análisis sub-categoría: Traducción y transformación de diferentes representaciones moleculares.***

Durante la enseñanza de la estereoquímica se emplearon diversas representaciones moleculares (planas, dimensionales y tridimensionales, entre otras), La traducción y transformación de diversas representaciones moleculares, requiere que el estudiante conozca e interprete sus significados. Estos autores Wu, Krajcik, Soloway; 2001; Wu & Shah, 2004; Padalkar & Hegarty 2012, consideran que para transformar y traducir representaciones 2D-3D y viceversa, se requiere de habilidades espaciales, para que el estudiante pueda deducir la información espacial y conceptual que integran estas representaciones.

El análisis respecto a las habilidades o dificultades que presenta el estudiante al interpretar y transformar diversas representaciones (Plana, semidesarrollada, desarrollada, dimensional, 3D, Fischer, Newman, silla). Se despliega a continuación, la red semántica 7, sintetiza los ejes principales en el estudio de las representaciones; la habilidad para interpretarlas desde el conocimiento espacial que posee el estudiante y las dificultades que identifica ligadas a las relaciones espaciales.



Red Semantica. 7: habilidad (conocimiento espacial) y diifcultad (relaciones espaciales) para realizar tranformaciones y traducciones de diferentes representaciones moleculares.

*Análisis de las dificultades que presenta el E.1 al interpretar ciertas representaciones moleculares*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones Evaluación E.1
Auto-evaluación	P.4: Señala con una X ¿Tuviste dificultades al interpretar cada una de las siguientes representaciones?	<p><i>Plana (No) ¿Por qué? Al realizarlos sabía cómo ubicar los carbonos y los demás átomos en un plano.</i></p> <p><i>Dimensional (No) ¿Por qué? Está representación es más completa que la plana, pero se como ubicar los átomos unos en el plano, otros atrás y adelante.</i></p> <p><i>Newman (Si) ¿Por qué? Se me hace difícil ubicar los dos carbonos que nos permiten ver está representación y de ahí pasar a ver si son eclipsados o alternados.</i></p>
Proyección Fischer Nomenclatura (R) (S)	P.4: Explique ¿Cuál consideras que fue la representación más difícil de interpretar?	<p><i>Dimensional: ¿Por qué? Se me hizo más difícil pasar de una Fischer a una dimensional, no encontraba como acomodar los átomos.</i></p> <p><i>Fischer: ¿Por qué? Ya sabía cómo pasar de una dimensional a una Fischer se me hizo</i></p>

		<i>más sencillo resolver este punto.</i>
Taller extra-clase estereoquímica	P.5: Señale con un (+) y con un (-) ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos?	<i>Newman (+-) ¿Por qué? Al comienzo se me hizo complicado pero de tantos ejercicios he ido comprendiendo un poco más. Fischer (+) ¿Por qué? Se me hace sencillo hacer una representación Fischer cuando parte de una dimensional. 3D (+) ¿Por qué? Está forma de representación es sencilla de hacer nos permite girar la molécula más fácil y observar todos sus átomos.</i>

Tabla 21 Respuestas del E.1 ante preguntas que indagaban por la dificultad o habilidad para trabajar con diferentes representaciones moleculares.

La tabla 21, resume las declaraciones del estudiante en torno la habilidad y dificultad de trabajar con determinadas representaciones, cuando se le pide al estudiante que señale con una **X** si presentó dificultades al interpretar cada una de las siguientes representaciones: Plana, Dimensional y Newman, el E.1 responde:

*Newman: “Se me hace difícil ubicar los dos carbonos que nos permiten ver esta representación”.*

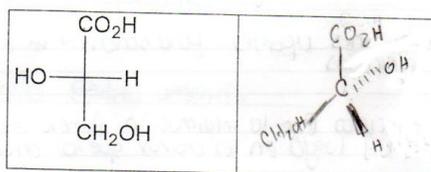
La dificultad al realizar la proyección Newman, se genera al representar las convenciones espaciales que caracterizan esta representación, primero lo relacionado con la ubicación, que es precisamente lo que el estudiante manifiesta, y, segundo la visualización de los átomos o grupos que componen el carbono (frontal y posterior) “y de ahí pasar a ver si son eclipsados o alternados”; este tipo de ejercicios requiere de un conocimiento sobre las propiedades proyectivas (González, 2009), cómo se ve un objeto, en nuestro caso una molécula, cuando se cambia el punto desde el cual se observa; teniendo en cuenta que “la proyección Newman es una vista de sólo dos átomos de carbono de la molécula, desde un extremo del enlace que los une” (Fessenden, 1983, p.126), por lo tanto, la dificultad que presenta el estudiante al trabajar con esta representación se vincula con la visualización del carbono frontal y posterior y con la ubicación de los átomos o grupos unidos a estos carbonos.

Al prologar el análisis, cuando se le pide al estudiante que dibuje y convierta una representación Fischer a una representación Dimensional y viceversa, y que adicionalmente

explique ¿Cuál considera que fue la representación más difícil de interpretar?, responde: “Se me hizo más difícil pasar de una Fischer a una dimensional (...)”, esta declaración no ofrece suficiente información respecto a la dificultad presentada; sin embargo al pasar de una representación (Fischer) a una dimensional el E.1 expresa: “no encontraba como acomodar los átomos”, su dificultad radica en la representación de los átomos o grupos que se encuentran cerca del observador, línea horizontal (adelante) y los que se encuentran lejos del observador línea vertical (atrás).

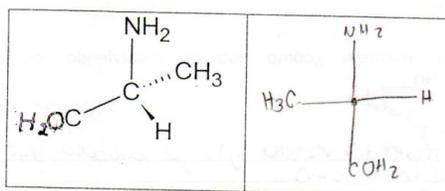
Al analizar los dibujos realizados por el estudiante en ambas transformaciones su resultado fue (-), tal y como se observa en la figura 13, el estudiante es conciente de las dificultades que se presentaron, relacionadas directamente con la representación de las relaciones espaciales iniciales (representación de partida) y finales (representación transformada). Para la molécula a) Ácido 2,3 dihidroxi propanoico, la configuración del centro quiral en la representación Fischer es (S) y en la representación dimensional su configuración cambia a (R). Ocurre lo mismo para la molécula b) Ácido 2, amino propanoico, la configuración del centro quiral en la representación dimensional es (R) y después de la transformación su configuración cambia a (S), en ambos ejercicios se rompe la norma de que la configuración debe permanecer.

Convierta la siguiente representación Fischer a fórmula dimensional.



a) Ácido 2,3 dihidroxi-propanoico

Convierta la siguiente fórmula dimensional de la alanina (Una aminoácido) a una proyección Fischer.



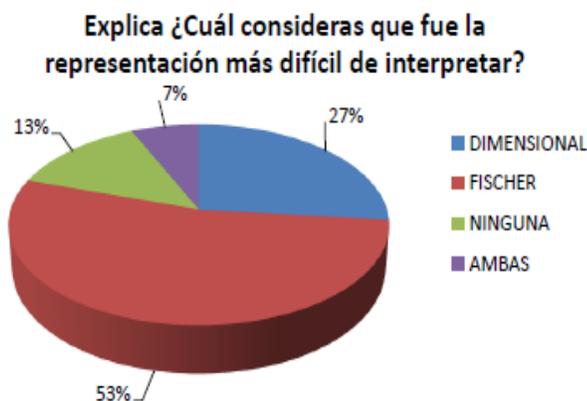
b) Ácido 2, amino propanoico

Figura 16 Transformación de representaciones 2D-Fischer y viceversa, los dibujos realizados en el cuadro de la derecha corresponde a la transformación llevada a cabo por el estudiante.

### Conclusión preliminar

Al analizar las respuestas del estudiante E.1 podemos identificar que presenta dificultades al dibujar, transformar e interpretar la información espacial que codifican las representaciones (Fischer, Newman), sobre todo, lo relacionado con la ubicación y orientación de los átomos o grupos en cada una de ellas; el mismo Fessenden (1983, p.143) plantea que “las proyecciones Fischer deben empelarse cuidadosamente”. Sugerimos convertir las proyecciones Fischer a fórmulas de bolas o varillas o dimensionales (usar modelos físicos) antes de llevar a cabo cualquier manipulación espacial”. Teniendo en cuenta el análisis realizado, la manipulación de los modelos físicos es fundamental, sin ellos la dificultad para representar y transformar cierto tipo de representaciones se incrementa. Lo anterior respalda lo sugerido por Padalkar & Hegarty (2012, p.2163) sobre la traducción de representaciones con diferentes orientaciones espaciales, considerando que “un estudiante puede rotar un modelo físico y observar los resultados, en lugar de tener que realizar difíciles transformaciones espaciales internas”.

Con el fin de fortalecer el análisis previamente realizado, a continuación se presentan una serie de datos cuantitativos (Grafica 2) , obtenidos a partir de la sistematización de las preguntas que específicamente indagaban por las representaciones más difíciles de interpretar para los estudiantes (señala con una **X** ¿Tuviste dificultades al interpretar cada una de las siguientes representaciones?, Señale con un (+) y con un (-), ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos?)



Gráfica 2. Porcentajes Dificultad al interpretar diferentes representaciones moleculares.

La Gráfica 2, agrupa un análisis general del desempeño de todos los estudiantes (26 en total) durante la solución de tareas de traducción y transformación. El 53% de los estudiantes manifiestan dificultad al interpretar la representación Fischer, sólo el 27% manifiesta que la dimensional y sólo el 7% que ambas. Padalkar & Hegarty (2012, p.2162) señalan que específicamente el dominio de los diagramas Fischer y Newman "...es un reto, debido a que utilizan diferentes convenciones para representar las tres dimensiones (3-D) disposición de los átomos de las moléculas en dos dimensiones en la página impresa".

#### *Análisis de las habilidades del estudiante al interpretar diferentes representaciones moleculares*

Para conocer qué tipo de representaciones moleculares son más fáciles de interpretar por los estudiantes, después de dibujar un par de Enantiómeros y Diastereoisómero, y asignar respectivamente la configuración (R) (S), se le pide que señalen con una X ¿Cuál de las siguientes representaciones moleculares consideran que fue más fácil de interpretar durante el tema de estereoquímica? explica tu respuesta:

*“Condensada (x) ¿Por qué? Puedo observar los carbonos y los Hidrógenos presentes”.*

*“Desarrollada (x) ¿Por qué? Se evidencian más los carbonos y los Hidrógenos me permiten ver todos los elementos”.*

*“Dimensional (x) ¿Por qué? Me permite ver los átomos en el plano, los que se encuentran atrás y adelante”.*

Las respuestas provistas por el estudiante evidencian que la habilidad para interpretar ciertas representaciones, radica en su conocimiento espacial, particularmente en representaciones (desarrollada, semi-desarrollada, dimensional) que permiten observar los átomos o grupos que constituyen la molécula y la conectividad de los mismos. Para el caso la representación dimensional, el estudiante expresa: “..... *“Me permite ver los átomos en el plano, los que se encuentran atrás y adelante”*”, esta representación es usada comúnmente por los docentes durante la enseñanza de la química.

Reiterando lo anterior, cuando el estudiante resuelve el taller extra-clase de estereoquímica (ver anexo 1, instrumento 7), se le pide que señale con un (+) y con un (-) ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos? De nuevo, las respuestas suministradas por el estudiante E.1 evidencian su conocimiento espacial, al poder interpretar las representaciones planas en las cuales se pueden visualizar de manera más explícita los átomos o grupos presentes en una molécula:

Representación semidesarrollada (+) ¿Por qué? *“Fácil me permite observar los átomos presentes en las moléculas”*.

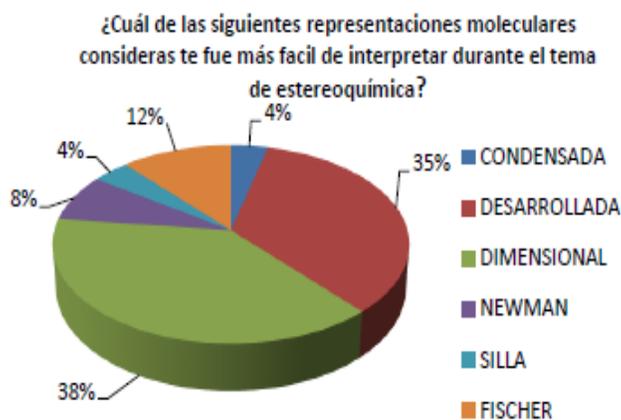
Representación dimensional (+) ¿Por qué? *“Fácil me permite ver los átomos que están en el plano, atrás y adelante”*.

Para el caso de la representación tridimensional el estudiante E.1 expresa: *“Está forma de representación es sencilla de hacer nos permite girar la molécula más fácil y observar todos sus átomos”*. El estudiante manifiesta que en esta representación se pueden visualizar todos los átomos y, además, le permite hacer los giros más fácilmente. En virtud de lo anterior consideramos que la manipulación de modelos físicos de moléculas promueve el desarrollo de habilidades viso-espaciales. Gilbert (2010, p.8) señala que “la mayor características de estos modelos es que retiene las tres dimensiones de lo que está siendo representado”.

Con el propósito de nutrir el análisis anterior, la Gráfica 3, categoriza de manera global las respuestas de los estudiantes (26), ante las preguntas que indagaban por las representaciones que fueron más fáciles de interpretar durante el tema de estereoquímica (señalen con una X ¿Cuál de las siguientes representaciones moleculares consideran que fue más fácil de interpretar durante el tema de estereoquímica?, señale con un (+) y con un (-) ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos?).

El 38% de los estudiantes manifiestan aptitudes al interpretar la representación dimensional, seguida de un 35% por la representación desarrollada y sólo un 12% manifiesta habilidad al interpretar una representación Fischer; así mismo, se evidencia que la representación Newman posee los porcentajes más bajos de interpretación 8%. Lo anterior respalda lo concluido por Bodner & Domin (2000, p.25) sobre el rol de las representaciones en la solución de

problemas en química orgánica e inorgánica, autores que plantean que “los estudiantes y (muchos químicos profesionales) están más familiarizados con las estructuras de moléculas en línea que con las proyecciones Newman”.



Gráfica 3. Representaciones que son interpretadas con facilidad por los estudiantes.

### *Conclusión preliminar*

El análisis de las declaraciones del estudiante permite concluir que la habilidad para interpretar cierto tipo de representaciones moleculares (Dimensional, tridimensional y desarrollada) se relaciona con su conocimiento espacial, el cual se evidencia cuando explica por qué puede interpretar la información que expresa una representación determinada, interpretando la orientación y ubicación de los átomos en el espacio, o cómo en la representación tridimensional se pueden visualizar los átomos, los grupos, su conectividad y, en especial, su tridimensionalidad.

#### **4.3.2 Análisis sub-categoría: Relaciones espaciales y Visualización**

La habilidad para realizar giros mentales o giros de moléculas a un ángulo determinado, se estudia relacionando dos procesos inherentes a este tipo de tareas: a) las relaciones espaciales, Lohman (1979) citado por Harley & Towns, (2011,p.352), considera que las relaciones

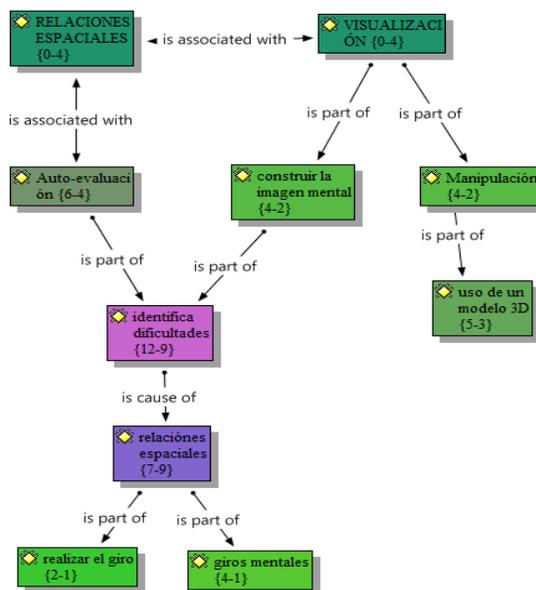
espaciales “(...)se compone de las tareas que requieren rotación mental de un objeto ya sea en el plano(2-D) o fuera del plano(3-D)” y b) la visualización entendida como “La habilidad de construir y manipular imágenes mentales tridimensionales de dibujos en 2D-3D y viceversa”. (Pribyl & Bodner, 1987).

En relación con lo antes planteado, para que el estudiante pueda resolver tareas que implican este tipo de transformaciones se requiere de la habilidad para establecer las relaciones espaciales resultantes de estas transformaciones dinámicas y, así mismo, de la habilidad para visualizar<sup>9</sup>, para poder determinar cómo luciría la molécula después de realizado el giro. Por lo tanto, las relaciones espaciales y los procesos de visualización se analizarán de manera conjunta, tomando como referencia lo propuesto por Briggs & Domin (2005, p.96) cuando postulan que: “El proceso de visualización parece preceder la operación de rotación en una tarea de rotación molecular mental”.

La habilidad del estudiante para resolver tareas que implican este tipo de transformaciones espaciales (giros mentales, giros a diferentes ángulos y nomenclatura R-S), se analiza desde las auto-evaluaciones que realiza mientras resuelve este tipo de ejercicios, con el fin de poder determinar cuáles son los factores que inciden en la adecuada solución de los ejercicios. La red semántica 8, presenta los ejes centrales que guiaron el análisis desarrollado en torno a las relaciones espaciales y su relación con el proceso de visualización mental; así mismo, por medio de las auto-evaluaciones se pudo identificar las dificultades que presenta el estudiante asociadas con estos dos procesos.

---

<sup>9</sup>“<sup>1</sup>Formar una imagen mental de: <sup>2</sup>Hacer (algo) visible al ojo.” Oxford diccionario online.



Red Semántica 8 E.1: El análisis de las relaciones espaciales y del proceso de visualización se construye en torno a las auto-evaluaciones que realiza el estudiante durante la solución de estos ejercicios.

*Análisis de la habilidad para realizar giros mentales y giros de moléculas a diferentes ángulos*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.1
Determinar cuántos grados giro la molécula <b>A</b> para lucir como la molécula <b>B</b>	P.11: ¿Crees que posees habilidades para realizar giros mentales de moléculas? Si_ No__ ¿Por qué?	<i>No, estos giros son un poco difíciles y mi habilidad es poca.</i>
Giro de 180° eje y 2D	P.5: ¿Tuviste dificultades al girar la molécula según el ángulo pedido? Si_ No__ ¿Por qué?	<i>No, el ejercicio es muy claro y nos muestra como se debe realizar el giro además no veo que dificultades pueda haber al realizar tal giro.</i>
Giro mental de una molécula en 3D	P.14: ¿Te resulta fácil realizar giros mentales de moléculas a diferentes ángulos? Si_ No__ ¿Por qué?	<i>No, es un poco difícil realizar estos giros sea cuál sea el ángulo y más si es un giro mental ya con la ayuda de un modelo va a ser más sencillo.</i>

Tabla 22 Resumen de las declaraciones del E.1 respecto a la habilidad o dificultad de realizar giros mentales y giros de moléculas a diferentes ángulos.

La Tabla 22, presenta las declaraciones del estudiante respecto a la facilidad o dificultad de realizar los giros propuestos. Para explorar la habilidad del estudiante para realizar ejercicios que comprometen cambios en la posición y orientación de los átomos o grupos de una molécula, se le pide que justifique si cree que posee habilidades realizando giros mentales, su respuesta es:

*“No, estos giros son un poco difíciles y mi habilidad es poca”.*

Es claro que el estudiante manifiesta no poseer habilidades para determinar ¿cuántos grados giro la molécula modelo?, su respuesta evidencia la toma de conciencia respecto a su desempeño, sin embargo no reconoce porqué estos giros son complicados. La opción que eligió fue incorrecta lo que corrobora la dificultad al realizar estos ejercicios. Así mismo, cuando se le propone realizar la rotación mental de una molécula 3D, de tal manera que el Hidrógeno quede escondido, y adicionalmente se le pregunta si le resulta fácil realizar giros mentales de moléculas a diferentes ángulos el estudiante responde:

*“No, es un poco difícil realizar estos giros sea cuál sea el ángulo y más si es un giro mental ya con la ayuda de un modelo va a ser más sencillo”.*

De nuevo, el estudiante expresa la dificultad de realizar giros a diferentes ángulos y sobre todo los giros mentales; además, señala que si tuviera un modelo físico sería más sencillo realizar la rotación, podemos concluir que el estudiante manifiesta la necesidad de poder usar los modelos concretos. Esta declaración es consistente con lo propuesto por Wu & Shah (2004) y Harle & Towns (2011:478) quienes destacan la importancia del uso de modelos concretos en las clases de química, como una herramienta que permite desarrollar la habilidades de visualización en los estudiantes debido a que “la manipulación de estos modelos podría ayudar a los estudiantes a comprender los conceptos básicos de las representaciones visuales”. El estudiante no eligió la opción que representa el giro que cumple con la condición planteada inicialmente.

Al ampliar el análisis, cuando se indaga si tuvo dificultades al girar una molécula 2D 180° en el eje y, el estudiante expresa:

*“No, el ejercicio es muy claro...”*

Declara que no tuvo ningún inconveniente al realizar la rotación propuesta, lo interesante es cuando expresa:

“...y nos muestra como se debe realizar el giro además no veo que dificultades pueda haber al realizar tal giro”.

El estudiante hace referencia al diagrama o referente “...objetos físicos, clasificación de los objetos (...)” (Briggs & Bodner, 2005, p.92) empleado para poder realizar el giro, este ejercicio cuenta con un esquema que ilustra la rotación que debe efectuarse a la molécula modelo (Ver Anexo 1). La respuesta seleccionada por el estudiante fue correcta, podemos deducir que probablemente el diagrama y el tipo de giro pedido sobre el eje vertical le permitió resolverlo adecuadamente, ya que un giro de 90° requiere de un conocimiento espacial más complejo.

*Análisis del las auto-evaluaciones realizadas durante el pre-test y post-test en ejercicios que involucran la visualización y realización de giros mentales y giros de moléculas a diferentes ángulos.*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.1</b>	<b>Solución del ejercicio</b>
Giro de 90° eje x 2D (Pre-test)	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>Se me dificulto un poco hacerlo porque en el papel es algo duro no hay como tener el modelo para realizar el giro.</i>	Incorrecta
Giro mental (Pre-test) 3D	P.15: ¿Cuál crees que fue el principal obstáculos que se te presentó mientras resolvías la prueba? Explica tu respuesta.	<i>El principal obstáculo.....y lo otro fue realizar esos giros mentales.</i>	No responde
Giro de 90° eje x 2D (Post-test)	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>Al realizar el giro se me dificulto un poco darme cuenta donde quedaba, me toco utilizar la imaginación.</i>	Correcta
Giro mental (Post-test) 3D	P.15: ¿Cuál crees que fue el principal obstáculos que se te presentó mientras resolvías la prueba? Explica tu respuesta.	<i>Imaginar me como quedaría el compuesto después de hacerle el giro porque la verdad no tenía idea.</i>	Correcta

Tabla 23. Análisis monitoreo (auto-evaluaciones) realizadas por el E.1 durante el Pre-test y Post-test en diferentes tareas de rotación.

La Tabla 23, resume las declaraciones de las auto-evaluaciones; este análisis evidencia la conciencia del estudiante sobre su desempeño, reconociendo la ausencia de habilidades necesarias para efectuar los giros mentales y los giros de moléculas a diferentes ángulos. Con el propósito de determinar los obstáculos que presentó, revisamos las auto-evaluaciones llevadas a cabo por el estudiante durante la resolución de estos ejercicios, por ejemplo, cuando se le pide que explique las dificultades que se presentaron mientras realiza un Giro de  $90^\circ$  en el eje  $x$  al rotar una molécula 2D el estudiante en el pre-test y post-test responde:

Pre-test E.1: *“Se me dificulto un poco hacerlo porque en el papel es algo duro no hay como tener el modelo para realizar el giro”.*

Las respuestas evidencian que durante el pre-test el estudiante tuvo dificultades al realizar el giro en el plano y nuevamente manifiesta la necesidad de contar con un modelo físico. Cuando analizamos el proceso que realiza para poder resolver el ejercicio el estudiante responde:

*Tuve en cuenta el diagrama que había en la parte superior para hacer el giro y como era de  $90^\circ$  el que estaba adelante pasa atrás y que estaba arriba pasa abajo.*

Aunque toma como referencia el diagrama para realizar el giro y además hay un indicio respecto a las relaciones espaciales que establece entre los átomos de la molécula, no tienen en cuenta el ángulo al cual debe girar la molécula, si fuese de  $180^\circ$  los átomos si adoptan los cambios que menciona el estudiante. La respuesta que eligió fue incorrecta.

Cuando analizamos la respuesta suministrada en el post-test al realizar el giro de  $90^\circ$  expresa que:

Post-test E.1: *Al realizar el giro se me dificulto un poco darme cuenta donde quedaba, me toco utilizar la imaginación.*

Su dificultad radica en determinar las relaciones espaciales resultantes del giro y expresa que uso la (“(...) imaginación”) acción relacionada con el proceso de visualización, se evidencia esta acción de nuevo cuando el estudiante expresa cuál el principal obstáculo al rotar mentalmente una molécula 3D fue:

Post-test E.1: *“Imaginarme como quedaría el compuesto después de hacerle el giro porque la verdad no tenía idea.*

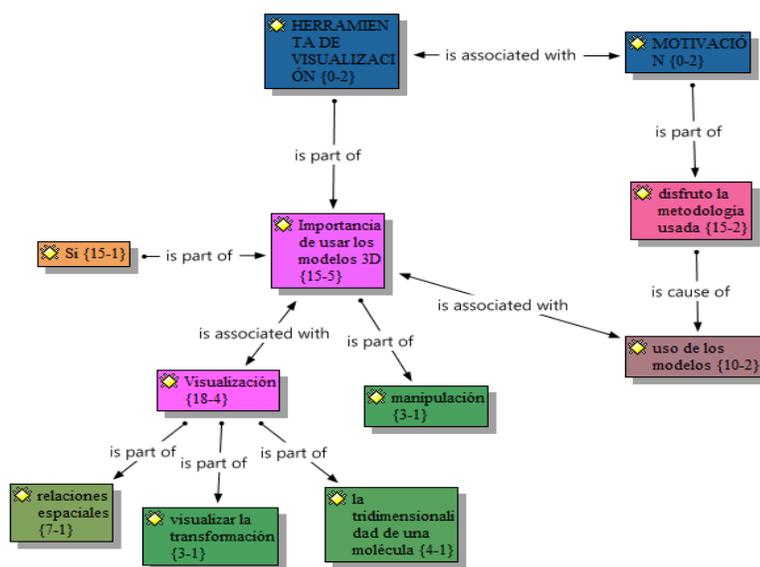
Gilbert (2007, p.11) considera que “la visualización” en química es vital”, por lo tanto, si durante la enseñanza y el aprendizaje de la química, no se usan herramientas de visualización (modelos concretos) que le permitan al estudiante percibir los componentes visuales y espaciales de la molécula, difícilmente podrá resolver adecuadamente los problemas que requieren de esta habilidad-visoespacial, como es la rotación molecular.

Así pues, cuando se le pide que describa el proceso que llevo al rotar la moléculas 90° en el eje X menciona que:

*“Lo que hice fue girar el flúor y este me quedo en la posición de adelante y me quedo como la opción A, B, C. Luego me base en el giro que realizó el OH estaba adelante me quedo atrás y mire la opción que me daba y así conteste que era la C”.*

El estudiante elige un eje para realizar la rotación átomo de (flúor), este giro genera un cambio en la ubicación de los demás átomos de la molécula, las relaciones que establece el estudiante se evidencian cuando describe la ubicación que adopta el Flúor y el OH. Estas variaciones le permitieron resolver adecuadamente el ejercicio al comparar la rotación con las opciones dadas en el ejercicio.

Con el propósito de fortalecer el análisis anterior, específicamente entorno a la importancia de desarrollar la habilidad de visualización, a través del uso de modelos físicos de moléculas (incluidos dentro de la metodología propuesta para las clases), a continuación presentamos un análisis general de las respuestas de los estudiante ante la pregunta ¿considera necesario el uso de modelos físicos de moléculas durante las clases de estereoquímica?, de los 15 estudiantes entrevistados, todos respondieron que sí; así mismo, cuando se les preguntó si les había gustado la metodología empleada todos respondieron que sí, destacando la importancia de haber usado los modelos concretos durante las clases de estereoquímica. La red semántica 11, resume los principales aspectos a los cuales hacen referencia los estudiantes respecto a las ventajas que ofrecen los modelos físicos durante la enseñanza de la estereoquímica.



La Red Semática 11, destaca los aspectos más importantes de usar los modelos concretos durante las clases.

La Tabla 24, presenta algunas de las justificaciones de los estudiantes en relación a las ventajas que proporciona, el uso de los modelos concretos; estas declaraciones exponen también lo cual se las percepciones positivas de los estudiantes frente a la metodología empleada para las clases de estereoquímica.

Pregunta	Manifestaciones
P.1: ¿Consideras necesario el uso de modelos físicos de moléculas durante las clases de estereoquímica? Si__ No__ ¿Por qué?	<p>E.1: <i>Si, es necesario utilizar los modelos para que la gente se guíe, pues por que como decía no basta con hacerlo sólo en el plano necesitamos saber como gira las rotaciones y todas esas cosas.</i></p> <p>E.3: <i>Si los considero necesarios porque uno puede ver y como las puede coger entonces puede ver, no sé, girarlas y le es mucho más fácil que solo imaginárselas.</i></p> <p>E.5: <i>Si, ya que es muy importante para la visualización, pues porque nos permite visualizar más fácil las moléculas y esto permite el desarrollo más fácil de un ejercicio</i></p> <p>E.8: <i>Si los considero necesarios, ya que es una herramienta muy buena para el aprendizaje que debemos tener en esta materia y ya que nos ayuda a muchas dudas que se tenían en el papel nos las llevan a un método 3D.</i></p>

<p>P.3: ¿Te gusto la metodología usada durante las clases de estereoquímica? Si__ No__ ¿Por qué?</p>	<p>E1: <i>Si, Voy a hablar del semestre pasado, (...) el semestre pasado la profesora pues no nos dio modelos ni nada sino que eran diapositivas, entonces pues fue más difícil comprender, la verdad yo no le entendí nada a la profesora el semestre pasado, en cambio este semestre con la ayuda de los modelos, entendí un poco mas aunque se me dificulto lo de Newman y eso, pero no ya estoy comprendiendo.</i></p> <p>E.3: <i>Si, me han contado los compañeros de clases anteriores de que solo era con diapositivas pues es chévere también coger modelos y aprender de otras formas.</i></p> <p>E.12: <i>Si, porque fue algo muy didáctico, porque al manipular las moléculas los talleres extra clase, en clase, todo esto nos ayudo para tener un mejor conocimiento.</i></p> <p>E.15: <i>Si, porque por medio de los modelos era más fácil la comprensión del tema y la profesora con las preguntas de los talleres se preocupaba por saber si habíamos entendíamos o no el tema.</i></p>
--	---

Tabla 24 Resumen de las declaraciones de los estudiante respecto a la importancia de usar los modelos físicos durante las clases de estereoquímica.

Los estudiantes justifican que la principal utilidad de los modelos, es que permiten visualizar (percibir, observar) las relaciones espaciales (posición y ubicación de los átomos o grupos) de las moléculas y su representación tridimensional. Los estudiantes expresan que al manipular los modelos, la rotación de moléculas podrá ser más sencilla, ya que se pueden apreciar los cambios asociados a dicha rotación. En virtud de lo anterior, Kozman & Russell (2005, p.124) consideran que los modelos físicos tridimensionales “hicieron la disposición tridimensional de elementos más explícitos y permite la rotación y la inspección del modelo molecular”.

Es claro, entonces, que el estudiante E.1 manifiesta la importancia de usar los modelos concretos (Dori & Barak, 2000; Harle & Towns, 2011) durante las clases de estereoquímica, esta declaración ha sido recurrente, argumenta que se necesita saber cómo giran las moléculas. Podemos establecer que este proceso de visualización molecular contribuye a la Formación de una representación interna, la cual requiere una representación externa (Modelo Físico) para convertirse en una representación interna; por lo tanto, las transformaciones (las rotaciones, y traducciones de representaciones) requieren de habilidades viso-espaciales, componente primordial en la resolución de problemas en química. (Wu & Shah; 2004, p. 468).

### *Conclusión preliminar*

Con relación a lo antes expuesto, las auto-evaluaciones realizadas por el estudiante permiten develar las principales dificultades que se presentan durante la resolución de ejercicios que involucran este tipo de transformaciones dinámicas o geométricas (González, 2009). Se hace evidente que el estudiante es conciente de su desempeño y de sus restringidas habilidades viso-espaciales, además, manifiesta la necesidad de un modelo físico para realizar las tareas; cuyo valor ha sido señalado ya por varios autores Barnea & Dori, 1996; Padalkar & Hegarty, (2012).

Dentro del proceso de rotación mental, se encuentran algunos de los componentes que según Briggs & Bodner (2005) contribuyen a la construcción de un modelo mental durante el proceso de rotación mental: el uso de referentes se presenta cuando el estudiante expresa el uso de los diagramas o átomos de la molécula para poder efectuar el giro; el componente de relaciones, se encuentra al comparar y establecer los cambios en la ubicación y posición de los átomos en la molécula, después de realizar una transformación dinámica. Por último, queda claro que el proceso de visualización asociado con la acción de imaginar, es un proceso empleado por el estudiante para poder determinar el resultado del giro, aunque en este punto se presentan dificultades.

### *Conclusión*

#### *Pensamiento viso-espacial*

##### *Categoría pensamiento viso-espacial E.1*

##### Sub-categoría Traducción y transformación de diferentes representaciones moleculares E.1

- La habilidad para interpretar cierto tipo de representaciones moleculares, se relaciona con el conocimiento y análisis espacial que posee el estudiante cuando declara porque las puede interpretar. Estas representaciones (dimensional, desarrollada, semi-desarrollada, tridimensional, etc.) no presentan mayores inconvenientes, ya que el estudiante pueden visualizar la orientación y ubicación de los átomos o grupos en el espacio además de su conectividad a lo largo de la molécula (Juaristi, 2005). Las moléculas que son

representadas por medio de líneas son más familiares para el estudiante (Bodner & Domin, 2000)

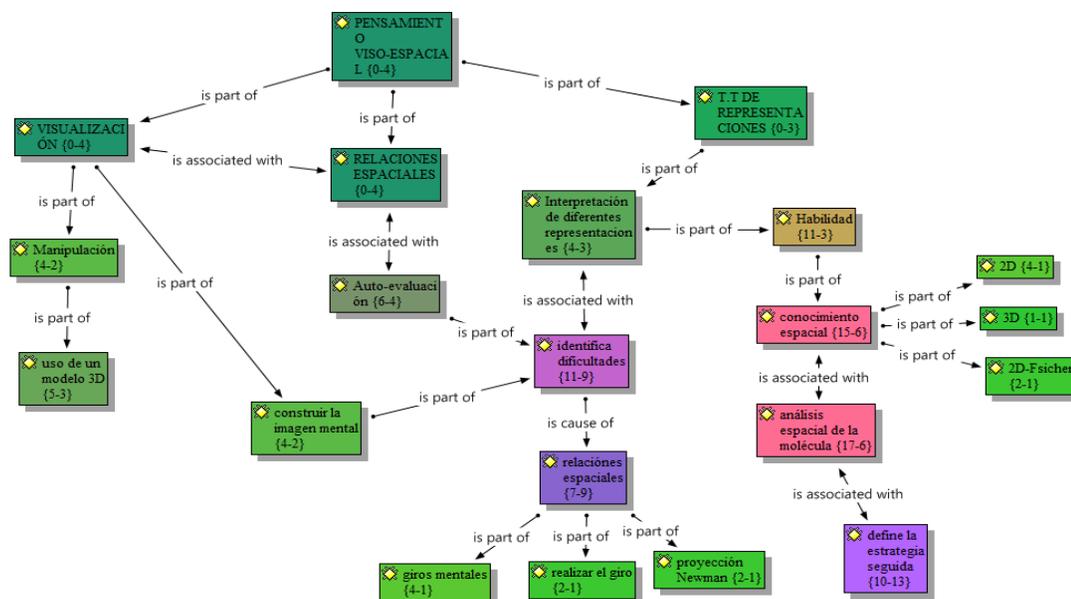
- La dificultad que se genera al dibujar y transformar ciertas representaciones moleculares (Newman y Fischer) radica en el alto componente espacial que las caracteriza. Padalkar & Hegarty (2012, p.2162) consideran que “El dominio de estos diagramas es un reto, debido a que utilizan diferentes convenciones para representarlas las tres dimensiones(3-D) disposición de los átomos en las moléculas en las dos dimensiones de la página impresa”. Estas autoras también recomiendan el uso de modelos concretos; útiles durante las tareas que implican la transformación de representaciones, debido a su cualidad tridimensional.
- El estudiante presenta dificultades al establecer las relaciones espaciales (ubicación y orientación) de los grupos o átomos de una molécula cuando se transforma la representación molecular. Bucat y Mocerino (2009, p.11) expone que “Sin un buen entendimiento de las representaciones moleculares los estudiantes no podrán visualizar las características espaciales de una molécula”.

#### Sub-categoría Relaciones espaciales y Visualización E.1

- El establecimiento de las relaciones espaciales de una molécula transformada (rotación mental o rotación a un ángulo determinado, etc.), implica un proceso de visualización mental de la molécula de partida, incluso en ausencia de este referente. Es claro que el estudiante es conciente de las pocas habilidades espaciales que posee, expresa la dificultad de realizar giros a diferentes ángulos y sobre todo los giros mentales. Con relación a lo antes planteado Bodner & Pribyl (1987, p.238) concluyeron que “las habilidades espaciales y el desempeño en tareas espaciales en química orgánica se relacionan” hallaron además que los estudiantes con habilidades espaciales altas podían resolver problemas que implicaban la manipulación mental de una molécula, que aquellos que tenían habilidades espaciales bajas.

- Briggs y Bodner (2005) argumentan que la visualización molecular es un proceso que implica la construcción de un modelo mental el cual integra: el uso de referentes presente cuando el estudiante expresa (el uso de los diagramas y átomos de la molécula para poder efectuar el giro), el componente relaciones, se halla cuando el estudiante comparar y establece los cambios en la ubicación y posición de los átomos en la molécula modelo o referente.
- El proceso de visualización asociado con la acción de (imaginar expresada por el estudiante) se lleva a cabo con el fin de poder determinar el resultado del giro y es precisamente en este punto donde se presentan serias dificultades. Briggs y Bodner (2005, p.87) señalan que una importante lección para los docentes es que “una visualización incorrecta puede causar una representación errónea y dar lugar a resultados incorrectos” .
- El estudiante señala que si tuviera un modelo físico sería más sencillo realizar la rotación. Dori & Barak (2000, p.189) recomiendan “incorporar una combinación de modelos físicos y virtuales en la enseñanza y el aprendizaje de la química como un medio para fomentar significativamente el aprendizaje y el entendimiento de las estructuras espaciales de las moléculas”.

El papel de las habilidades viso-espaciales y su relación con el aprendizaje y desempeño de los estudiantes durante la resolución de ejercicios en estereoquímica, se evidencia en la red semántica 10, la cual resume las conexiones que se establecen entre los componentes del pensamiento viso-espacial, que desde nuestro interés investigativo se consideran claves para la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica. En virtud de lo anterior Gardner (2001, p.142) plantea que “los componentes o habilidades espaciales operan en conjunto y que el uso de cada operación bien puede reforzar el uso de los demás”.



Red Semántica 10. Habilidades viso- espaciales que intervienen en el aprendizaje y en el desempeño de ejercicios en estereoquímica E.1

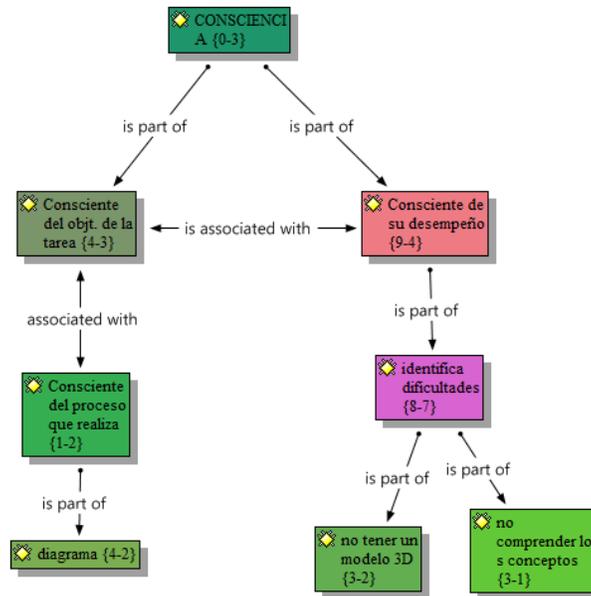
### Análisis de caso Estudiante 4<sup>10</sup>

#### Análisis categoría Metacognición

##### Sub-categoría: Conciencia

Se estudia la conciencia desde el conocimiento que tiene la persona sobre sus propios procesos cognitivo, Tamayo (2007, p.109) define la conciencia como “un saber de naturaleza intra-individual, se refiere al conocimiento que tienen los estudiantes de los propósitos de las actividades que desarrollan y de la conciencia que tiene sobre su propio progreso personal”. El análisis siguiente, describe la toma de conciencia del E.4 (red semántica 1) respecto a los objetivos de la tarea y su relación con el proceso que lleva a cabo; así mismo se identifica que es conciente de su desempeño, determinado las dificultades que se presentaron durante la solución de los ejercicios.

<sup>10</sup>La convención E.4 hace referencia al estudiante analizado.



Red Semántica 1. Conciencia E.4 respecto a: el objetivo de la tarea, al proceso que realiza y frente a su desempeño en tareas específicas.

*Análisis de la conciencia sobre el objetivo de la tarea y sobre el proceso que realiza*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.4
Giro de 180° eje y en 3D (Pre-test)	P.3: ¿Consideras es clara la pregunta planteada para el ejercicio anterior? Si__ No__ ¿Por qué?  P.4: ¿Por qué crees que la respuesta que elegiste fue la correcta? Justifica tu respuesta.	<i>Si, la pregunta es clara y con el esquema de la parte superior derecha es de gran ayuda para la orientación del giro.</i>  <i>Porque el posible lugar donde mi imaginación me llevaba lo corroboré con la respuesta, primero hice la rotación y luego mire las posibles respuestas luego al ser un giro de 180° hice líneas imaginarias partiendo del el elemento hasta cruzar por la mitad.</i>
Giro de 180° eje y en 3D (Post-test)	P.3: ¿Consideras es clara la pregunta planteada para el ejercicio anterior? Si__ No__ ¿Por qué?  P.4: ¿Por qué crees que la respuesta que elegiste fue la correcta? Justifica tu respuesta.	<i>Sí, Porque la pregunta es precisa, además las ayudas gráficas nos ubican en las rotaciones que nos piden.</i>  <i>Porque haciendo mi esquema mental, así es como queda, aunque es algo complicado sin tener la ayuda física de los modelos, pero los modelos son indispensables para este tipo de ejercicio.</i>

Tabla 25 Conciencia del objetivo de la tarea y del proceso que realiza durante el Pre-test y Post-test

La tabla 25, presenta las declaraciones del E.4, asociadas a la toma de conciencia respecto a las demandas de los ejercicios y frente al proceso que realiza para solucionarlos, durante el pre-test y post-test se le pide que rote una molécula 3D 180° en el eje Y, posteriormente se le pregunta si *¿Considera es clara la pregunta planteada para el ejercicio anterior? Si\_ No\_ ¿Por qué?* el E.4 responde que:

Pre-test Giro de 180° eje y: *“Si, la pregunta es clara y con el esquema de la parte superior derecha es de gran ayuda para la orientación del giro”.*

Post-test Giro de 180° eje y: *“Sí, Porque la pregunta es precisa, además las ayudas gráficas nos ubican en las rotaciones que nos piden.”*

En ambas respuestas el estudiante manifiesta que el diagrama que presentaba la prueba fue de gran ayuda, además oriento la ejecución del giro; el uso de este diagrama (Ver Anexo 1) es considerado por Briggs & Bodner (2005, p.92) como un referente “...objetos físicos, clasificación de los objetos (...)”, este referente o diagrama que puede ser incluso la molécula modelo.

En relación a la conciencia que tiene sobre el proceso que llevó a cabo, durante el pre-test y ante la pregunta *¿Por qué cree que la respuesta que elegiste fue la correcta? Justifica tu respuesta*, el estudiante considera que la respuesta es correcta *“Porque el posible lugar donde mi imaginación me llevaba lo corrobore con la respuesta”*, este proceso de imaginar (visualizar) y corroborar con las opciones dadas le permitió identificar la respuesta, además señala, que para realizar el giro *“(...) hice líneas imaginarias partiendo del el elemento hasta cruzar por la mitad”*, estas líneas imaginarias se interpretan desde lo que (González, 2009) plantea como un elemento clave “el sentido de rotación”.

Finalmente la justificación que otorga durante el post-test sobre la validez de su respuesta no revela conciencia frente al proceso que realizó simplemente manifiesta que *“(...) mi esquema mental”* fue suficiente para elegir la respuesta, señala además la dificultad de realizar tal transformación *“(...) aunque es algo complicado sin tener la ayuda física de los modelos (...)”*, no tener los modelos físicos, ante esto Dori & Barak (2000, p.185) declaran “la percepción y la

comprensión de la estructura espacial de las moléculas orgánicas, ha sido una fuente de dificultades para los estudiantes”.

*Análisis de la conciencia sobre su desempeño*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.4</b>
Proyección Fischer, Nomenclatura R-S, enantiómero diastereoisómero	P.3 Señala el grado de seguridad en las respuestas de que diste a los ejercicios anteriores. Excelente__ Bueno__ Regular__ Malo__  Deficiente__ ¿Por qué?	<i>Regular, Aunque los conceptos están consignados en el cuaderno, no logro comprenderlos.</i>
Entrevista	P.5: ¿Estas satisfecha con el resultado obtenido en el parcial? Si__ No__ ¿Por qué?	<i>Mas o menos, lo que todos hemos dicho el tiempo y pues, o sea el parcial estuvo muy trabajable, lo único fue que los talleres me hayan bajado la nota del parcial, eso fue ahí lo mas maluco.</i>

Tabla 26 Declaraciones E.4 respecto a la conciencia que demuestra sobre su desempeño

La tabla 26, agrupa las declaraciones del E.4 relacionadas con la toma de conciencia sobre su desempeño, se analiza desde la detección de las dificultades que intervienen en el desarrollo exitoso de una tarea; cuando se le propone realizar los isómeros del ciclohexano, se le pregunta si cree que puede resolver el ejercicio, el E.4 responde:

*“Sí, Porque los conceptos quedaron claros y además la ayuda con los colores diferentes para diferenciar la posición axial y ecuatorial es de gran ayuda”.*

Esta respuesta revela que el estudiante conoce su desempeño, el uso de diferentes colores le permitió representar e identificar los enlaces axiales y ecuatoriales, cuando expresa que “*los conceptos quedaron claros (...)*” se refiere a la comprensión de los conocimientos necesarios para resolver esta tarea, aunque su justificación no revela con claridad los conocimientos aplicados, el desempeño del estudiante en esta tarea fue exitoso.

Continuando con el análisis, cuando el estudiante se enfrenta a diversas tareas como: asignar la nomenclatura R-S de un compuesto, o identificar los enantiómeros y diastereoisómeros de una molécula con más de dos centros quirales; al indagar por el grado de seguridad que posee frente al desarrollo de estos ejercicios, el estudiante califica su desempeño como:

*“Regular, Aunque los conceptos están consignados en el cuaderno, no logro comprenderlos”.*

El estudiante es conciente y reconoce aquellos conceptos difíciles de comprender lo cual, la figura 14 permite comprobar que el estudiante no pudo identificar el par de moléculas que representaban los enantiómeros y los diastereoisómeros, tampoco pudo asignar la nomenclatura al 2-Bromo-2-Cloro etano; lo anterior se confronta con la auto-evaluación que el estudiante realiza mientras desarrollaba los ejercicios, manifestando que la principal dificultad radica en que: *“(…) hay conceptos que no tengo claros como enantiómero o diastereoisómero, por esta razón no pude resolver el ejercicio 3”.*

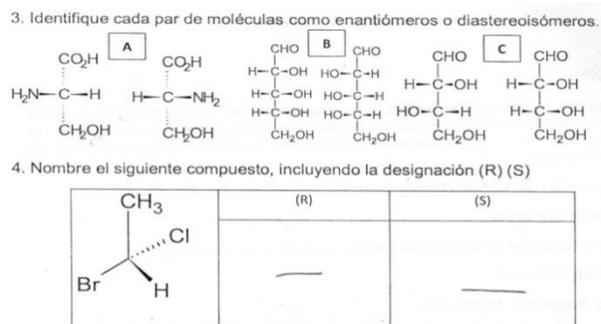


Figura 17 Desempeño del E.4, es conciente de las dificultades que tuvo al resolver los ejercicios donde debía identificar enantiómeros-diastereoisómeros y asignar la nomenclatura R-S.

Finalizando este análisis, cuando se le pide que exprese si se siente satisfecho(a) o no del resultado obtenido en el parcial, responde que:

*“Más o menos, lo que todos hemos dicho el tiempo y pues, o sea el parcial estuvo muy trabajable, lo único fue que los talleres me hayan bajado la nota del parcial, eso fue ahí lo mas maluco”.*

El estudiante reconoce que el tiempo fue un elemento determinante durante la solución del parcial, así mismo expresa *“estuvo muy trabajable”*, lo que nos permite deducir que el estudiante reconoce poseer la capacidad y los conocimientos necesarios para resolverlo, una declaración de

particular interés se presenta cuando el E.4 expresa, “*lo único fue que los talleres me hayan bajado la nota del parcial, eso fue ahí lo mas maluco*”. Aunque previamente se habían establecido los criterios de evaluación y sus respectivos porcentajes con el grupo; el estudiante se siente incomodo al saber que el desempeño obtenidos en las actividades previas al examen incidió en la nota final de su parcial.

Es claro entonces, que es conciente de su desempeño, identificando los factores que inciden en la solución de un ejercicio; así mismo se evidencia el valor cuantitativo que otorga a su proceso de aprendizaje.

### *Conclusión preliminar*

Concluimos del análisis previo, los procesos asociados a la toma de conciencia del E.4 frente a su desempeño, desde detección de obstáculos (ausencia de los modelos 3D) (no comprender determinados conceptos) que indiquen en el desarrollo de una tarea propuesta. Aunque el estudiante es conciente del objetivo de la tarea, la conciencia frente al proceso que realiza es limitada, sus explicaciones no proporcionan suficiente información respecto al proceso que le permitió llegar a la respuesta. Relacionamos lo anterior con la importancia de incorporar la toma de conciencia dentro de los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia, Livingston (1997: 4) sostiene que durante las intervenciones metacognitivas se debe “(...) enseñar a los estudiantes cómo ser más concientes de sus procesos de aprendizaje y sus productos”. Así mismo Kuhn (2000) concibe el desarrollo metacognitivo como un proceso prolongado que se fortalece y agudiza bajo el control conciente que ejerce el individuo a través del tiempo cuando gana experiencia en actividades metacognitivas.

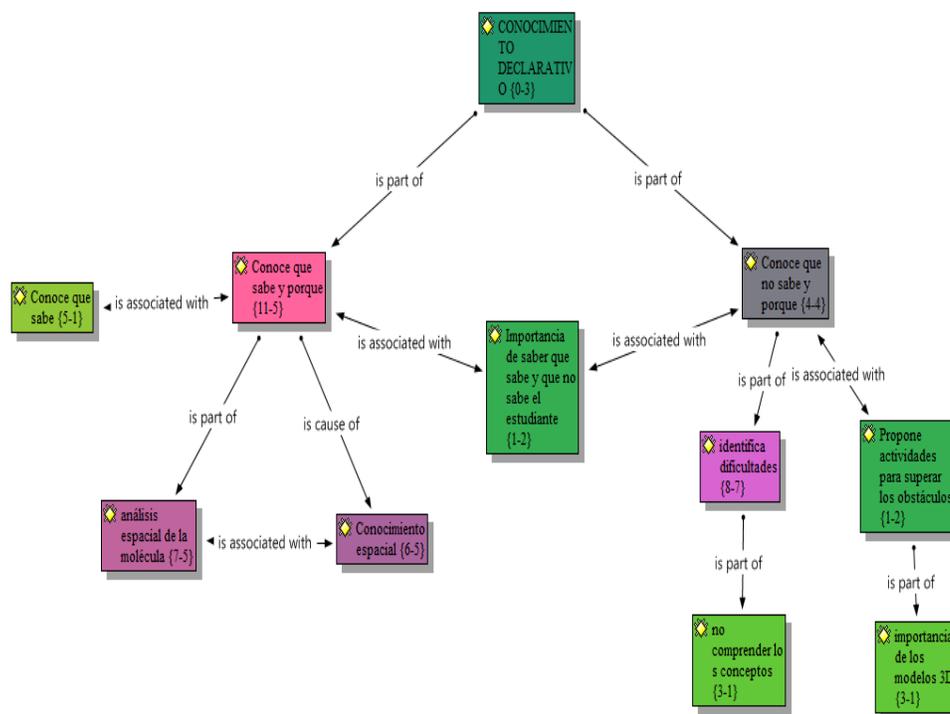
### *Análisis tipos de conocimiento*

El conocimiento metacognitivo hace referencia al conocimiento que tiene una persona sobre sí mismo como aprendiz expresando aquello que sabe, lo que no sabe y por qué; así mismo este conocimiento se evidencia cuando explica o determina los pasos, mecanismos o estrategias que lleva a cabo para resolver una tarea. Schraw & Moshman (1995, p.353) establecen “El

conocimiento de la cognición se refiere a lo que las personas saben acerca de su propia cognición o sobre la cognición en general”. El análisis que se presenta, examina el conocimiento declarativo y procedimental del E.4 mientras resuelve ejercicios en estereoquímica.

### Conocimiento declarativo

El conocimiento declarativo implica conocerse a sí mismo como aprendiz y conocer los factores que influyen en el desempeño de una tarea específica, Tamayo (2006, p. 2) lo define como un “Conocimiento proposicional referido a un saber qué, acerca de uno mismo como aprendiz y de los diferentes factores que influyen de manera positiva o negativa en nuestro rendimiento”. La red Semántica 2, describe el conocimiento declarativo del E.4 desde el análisis de lo que sabe (análisis espacial y conocimiento espacial) y lo que no sabe (identificando dificultades) lo anterior se establece en torno a las justificaciones que brinda.



Red Semántica 2. Conocimiento declarativo E.4 respecto a: lo que sabe y no sabe, derivado de las justificaciones que proporciona

*Análisis sobre lo que sabe*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.4</b>
Auto-evaluación	P.1: Asigna un (+) a aquellos conceptos que consideres has comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no son tan claros para ti. Justifica tu respuesta.	<p><i>Isómeros estructurales (+) ¿Por qué? Los isómeros estructurales son los que tienen la misma fórmula molecular.</i></p> <p><i>Isómeros conformacionales (+) ¿Por qué? Son los compuestos que tienen la misma fórmula molecular pero se encuentran en diferente posición.</i></p>
Quiralidad	P.1: Describe ¿Qué criterios tuviste en cuenta para resolver el punto a de la actividad individual?	<p><i>La molécula A es: <u>Quiral</u> ¿Por qué? Porque tiene 4 sustituyentes diferentes unidos al átomo de carbono central.</i></p> <p><i>La molécula B es: <u>Quiral</u> ¿Por qué? Una molécula quiral no puede ser superpuesta con su imagen especular.</i></p> <p><i>La molécula C es: <u>Aquiral</u> ¿Por qué? Aunque hay un carbono que si es quiral, hay otro que no lo es entonces como me preguntan por una sola molécula, por esta razón es aquiral.</i></p>
Taller extra-clases estereoquímica.	P.5: Señale con un (+) y con un (-) ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos?	<p><i>Representación semidesarrollada (+) ¿Por qué? Porque se pueden ver los átomos sustituyentes.</i></p> <p><i>Representación dimensional (+) ¿Por qué? Porque se pueden observar las ubicaciones espaciales.</i></p> <p><i>Representación Fischer (+) ¿Por qué? la ubicación de los grupos voluminosos en los extremos y luego dar el orden de prioridad para la nomenclatura es más fácil.</i></p>

Tabla 27 Conocimiento E.4 respecto a lo que sabe validado desde sus explicaciones.

La tabla 27, agrupa las explicaciones del E.4 ante la pregunta que indaga respecto a lo que sabe en relación con los conceptos estudiados y por qué cree que lo sabe. A continuación analizaremos las declaraciones del E.4 solamente respecto a lo que sabe, durante la auto-evaluación, se le pide al estudiante que valore con un (+) y (-) su comprensión frente a los conceptos estudiados:

*Estructurales (+) ¿Por qué? “Los isómeros estructurales son los que tienen la misma fórmula molecular”.*

*Conformacionales (+) ¿Por qué? “Son los compuestos que tienen la misma fórmula molecular pero se encuentran en diferente posición”.*

Aunque el estudiante reconoce que los ha comprendido, su explicación no es clara ni específica; en relación a los isómeros estructurales no basta sólo con saber que poseen la misma fórmula molecular, es necesario entender que los átomos de carbono se distribuyen de manera diferente a lo largo de la cadena. Así mismo, considera que ha comprendido lo que significa un isómero conformacional, sin embargo su respuesta no corresponde con lo estudiado respecto a las características de los isómeros de compuestos de cadena abierta.

Esta revisión nos permite concluir que el estudiante no es conciente de los aprendizajes adquiridos, simplemente declara que lo sabe, sus explicaciones son poco rigurosas y carecen de relación teórica; la simple reproducción de una definición no garantiza la comprensión de un concepto. En virtud de lo anterior Burón (1999, p.11) señala que gran parte de los estudiantes “(...) llegan a cursos superiores creyendo que saben una lección cuando pueden repetirla de memoria, aunque no entiendan bien lo que dicen”.

#### *Análisis sobre lo qué sabe y porque lo sabe*

Se centra nuestro interés en conocer las explicaciones del estudiante respecto a lo que sabe y porque cree que lo sabe, un ejemplo de ello se presenta cuando se le pide describir los criterios empelados para determinar si una molécula es quiral o aquiral.

La molécula A (Ácido, 2 amino propanoico) es: Quiral ¿Por qué? “Porque tiene 4 sustituyentes diferentes unidos al átomo de carbono central”.

La molécula B (1, Cloro etano) es: Quiral ¿Por qué? “Una molécula quiral no puede ser superpuesta con su imagen especular”.

La molécula C (2,3 dimetil 1, penteno) es: Aquiral ¿Por qué? “Aunque hay un carbono que si es quiral, hay otro que no lo es entonces como me preguntan por una sola molécula, por esta razón es aquiral”.

Sus criterios se apoyan en lo que hemos denominado como “análisis espacial” proceso que requiere observar las características espaciales de la molécula para poder determinar la orientación y posición relativa de los átomos y grupos; esta actividad le permite identificar los grupos o átomos de una molécula y así determinar si es quiral o aquiral. Se evidencia por lo tanto la aplicación de los conceptos estudiados cuando argumenta que una molécula quiral no se superpone con su imagen especular o que sus cuatro sustituyentes son diferentes. Como se puede observar en la Figura 18, el estudiante identifica correctamente los centros quirales de las moléculas modelo.

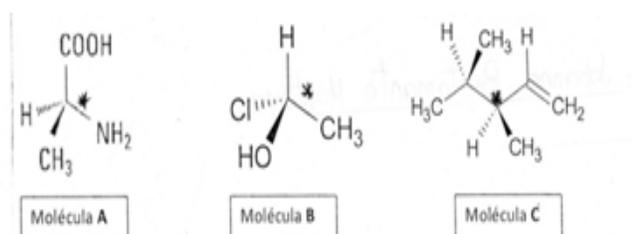


Figura 18 Moléculas quirales, por medio de los asteriscos el E.4 identifica los centros estereogénicos.

Retomando el estudio, cuando se le pide al estudiante que señale con (+) o un (-) si tuvo dificultades para interpretar diversas representaciones empleadas, el estudiante describe las representaciones más fáciles de interpretar:

Representación semidesarrollada (+) ¿Por qué? “Se pueden ver los átomos sustituyentes”.

Representación dimensional (+) ¿Por qué? “Se pueden observar las ubicaciones espaciales”.

Representación Fischer (+) ¿Por qué? “La ubicación de los grupos voluminosos en los extremos y luego dar el orden de prioridad para la nomenclatura es más fácil”.

En relación con las anteriores manifestaciones, la competencia representacional del estudiante (Kozma & Russell, 2005) se evidencia a través de lo denominado como “conocimiento espacial” hace referencia al conocimiento que el estudiante tiene respecto a la

orientación y ubicación espacial de los átomos o grupos en una molécula o en una representación; este conocimiento le permite interpretar una representación molecular, por ejemplo el E.4 sabe que en una representación semi-desarrollada se puede percibir los átomos o sustituyentes de la molécula; se evidencia en su justificación la capacidad de interpretar una representación Fischer y Dimensional (ubicación de los átomos en una representación 2D).

*Análisis respecto a lo que no sabe analizado desde las explicaciones que brinda*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.1</b>
Auto-evaluación	P.1: Asigna un (+) a aquellos conceptos que consideres has comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no son tan claros para ti. Justifica tu respuesta.	<i>Isómeros geométricos (-) ¿Por qué? No es claro el concepto, falta de comprensión lectora, si lo veo puedo identificarlo por descarte. Conformaciones de los compuestos cíclicos (-) ¿Por qué? No tengo claro el compuesto aunque si lo veo gráficamente puedo dar el nombre de estos.</i>
Auto-evaluación	P.2: ¿Cuál consideras que ha sido el principal obstáculo en la comprensión de los conceptos previamente estudiando? Explica tu respuesta.	<i>Más comprensión al hacer la lectura, y también apoyarse en material diferente a la clase.</i>
Auto-evaluación	P.3 ¿Qué actividades propondrías para poder comprender aquellos conceptos que no son tan claro para ti? Explica detalladamente tu respuesta.	<i>Primero: leer lo que hay en el cuaderno, sobre estos conceptos. Segundo: Ayudarse de las gráficas, pero sobretodo del material físico (palos y bolas) Tercero: Con la ayuda del material físico poder demostrar que los conceptos están claros.</i>

Tabla 28 Conocimiento sobre lo que no sabe sustentado desde las explicaciones que brinda.

La Tabla 28, presenta las manifestaciones del estudiante sobre lo que no sabe y porque cree que no lo sabe, de nuevo cuando se le pide que asigne un (+) a aquellos conceptos que considera ha comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no comprendido bien el E.4 responde:

*Isómeros geométricos (-) ¿Por qué? No es claro el concepto, falta de comprensión lectora, si lo veo puedo identificarlo por descarte.*

*Conformaciones de los compuestos cíclicos (-) ¿Por qué? No tengo claro el compuesto aunque si lo veo gráficamente puedo dar el nombre de estos.*

Es común en ambas respuestas, que el E.4 expresa no comprender el significado del concepto estudiado, además argumenta que si visualmente pudiese ver la representación de estos isómeros los podría identificar, lo interesante de estos argumento es que, si bien la visualización como lo plantea Wu & Shah (2004, p.466) “ha sido usada para comunicar conceptos (...)”, resulta inquietante pensar que sólo con reconocerlos gráficamente los comprende, las visualizaciones también requieren de una interpretación que se relaciona con el concepto que se quiere enseñar.

Dándole continuidad al análisis cuando se le pregunta cuál fue el principal obstáculo en la comprensión de los conceptos estudiados el estudiante responde “*Más comprensión al hacer la lectura, y también apoyarse en material diferente a la clase*”, es consciente de que requiere comprender lo que lee, y manifiesta la necesidad de buscar información adicional. Dentro de las actividades que el estudiante propone para superar tales obstáculos se encuentra:

*Primero: leer lo que hay en el cuaderno, sobre estos conceptos.*

*Segundo: Ayudarse de las gráficas, pero sobretodo del material físico (palos y bolas)*

*Tercero: Con la ayuda del material físico poder demostrar que los conceptos están claros.*

Como primer paso propone leer lo que hay en su cuaderno sobre los conceptos estudiados, los dos pasos restantes hacen reiterado énfasis en la necesidad de poder trabajar con los modelos físicos de moléculas; estos modelos son necesarios para la visualización de los isómeros geométricos y característica disposición espacial; así mismo las conformaciones de los compuestos cíclicos requieren de una visualización espacial exigente, ya que se debe dibujar la molécula desde un punto determinado, para posteriormente representar aquellos átomos que se verían alternados y eclipsados durante el constante movimiento. Con relación a lo antes planteado Parrill & Gervay (1996, p.2) señalan que los estudiantes “puede aumentar su confianza al disponer de modelos físicos en 3D, con el fin de demostrar su comprensión sobre los principios de estereoquímica”.

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.4</b>
Entrevista	P.2: ¿Cree que es importante que le docente conozca cuáles son las dificultades que presentan los estudiantes durante la enseñanza de la estereoquímica? Si__ No__ ¿Por qué?	<i>Si porque de ahí se pueden conocer, o sea, si el profesor se preocupa por eso se puede saber donde tiene las fallas el estudiante y se puede trabajar más en eso.</i>
Entrevista	P.4: ¿Piensa que es necesario que ustedes los estudiantes conozcan sus fortalezas e identifiquen las debilidades mientras se estudia el tema? Si__ No__ ¿Por qué?	<i>Sí, porque si conocemos las dificultades, pues lo que se nos dificulta en el trabajo pues podemos trabajar más en este.</i>

Tabla 29 Declaraciones dadas por el estudiante durante la entrevista E.4.

Las opiniones presentadas en el tabla 29, corresponden a la entrevista realizada, ante las preguntas: le parece importante y necesario que el docente conozca las dificultades que presentan los estudiantes mientras se aprende un tema específico y adicionalmente si es importante para él conocer sus fortalezas y dificultades; considera necesario que el docente se preocupe por conocer, cuáles son las fallas que se presentan durante los aprendizajes, Tamayo (2007, p.112) propone que “se considera necesario para cualquier proceso de enseñanza que los profesores conozcan en detalle cómo sus estudiantes aprenden los campos disciplinares que ellos enseñan”. Así mismo, el estudiante respalda la necesidad de conocer sus fortalezas y debilidades, Lin (2001, p.35) argumenta que los espacios metacognitivos “proporcionan oportunidades frecuentes para que los estudiantes se auto-evalúen de manera que puedan explicar concretamente qué saben y qué no saben”.

### *Conclusión preliminar*

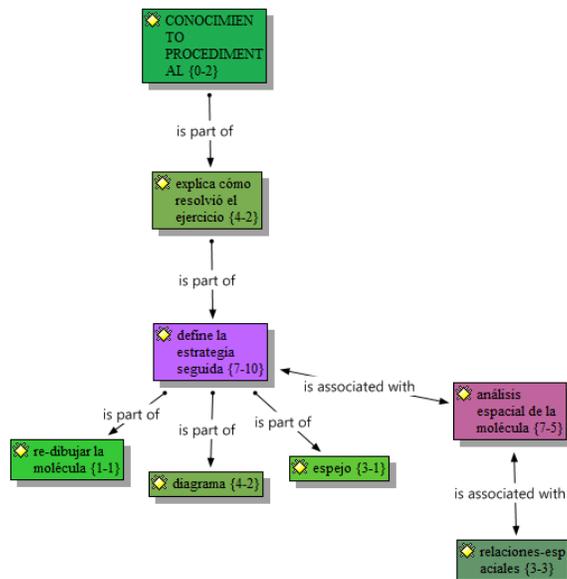
Se deduce del anterior análisis, que el estudiante manifiesta conocimiento de sí mismo como aprendiz, está toma de conciencia respecto a lo que sabe, se evidencia en el análisis y conocimiento espacial que posee y aplica en la resolución de los ejercicios. El conocimiento respecto a lo que no sabe y por qué, le permitió tomar conciencia respecto a los conceptos que no

comprende, resaltando las dificultades que se presentan (no comprender el significado del concepto).

Esta reflexión metacognitiva guiará las futuras decisiones del estudiante frente a las acciones o procesos que direccionarán una mejor comprensión de los temas, esto se evidencia cuando propone actividades para superar estas dificultades; las cuales incluyen el uso de modelos físicos como un apoyo a la comprensión espacial de los diferentes tipos de isomería. En virtud con lo anterior Dori & Barak (2001, p.185) señalan que aplicado a la química “los modelos físicos de palos y bolas, son modelos análogos para explicar conceptos abstractos y nuevos.”

### *Conocimiento procedimental*

Conocer cómo y porqué que se hacen las cosas de una manera determinada, se relaciona con lo propuesto por Tamayo (2006, p.2) cuando define el conocimiento procedimental como “Un saber cómo se hacen las cosas, de cómo suceden, es un tipo de conocimiento que puede representarse como heurísticos y como estrategias en las cuales los individuos definen los pasos seguidos en la solución de un problema”. En el siguiente análisis se describe (Red semántica 3) las acciones llevadas a cabo por el estudiante, con el fin de resolver los diferentes ejercicios; se establecen las estrategias seguidas y el análisis espacial realizado a las moléculas.



Red Semántica 3. Conocimiento procedimental E.4, explica cómo resolvió los ejercicios define la estrategia seguida asociada con el análisis espacial.

*Análisis sobre cómo resolvió el ejercicio propuesto*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.4
Identificar enantiómero de la (S) Leucina	P.3: ¿Cuál fue el proceso que realizaste para resolver el punto.6? ¿Por qué?	A: Tomar el espejo y hacer la imagen especular. B: Comparar la imagen hecha con las opciones dadas. C: No responde.
Pasar de una representación Dimensional a una Fischer	P.3: ¿Cuál fue el proceso que realizaste para resolver el punto.5? ¿Por qué?	A: Conocer como se mueven los átomos de las moléculas en el espacio. B: Pasar las moléculas dimensionales al plano. C: Conocer la ubicación de los grupos sustituyentes y saber en qué ubicación pasa a la proyección Fisher.

Tabla 30 Procesos que realiza el E.4 para resolver diferentes ejercicios.

La tabla 30, presenta las explicaciones otorgadas por el E.4 respecto a la forma cómo resuelve determinado ejercicio; cuando se le propone pasar de un representación molecular a otra (2D a Fischer) el E.4 explica la manera cómo resolvió el ejercicio:

A: *“Conocer como se mueven los átomos de las moléculas en el espacio”.*

B: *“Pasar las moléculas dimensionales al plano”.*

C: *“Conocer la ubicación de los grupos sustituyentes y saber en qué ubicación pasa a la proyección Fisher”.*

Dentro del proceso que sigue para resolver el ejercicio, el E.4 propone en el paso A, conocer como se mueven los átomos de las moléculas, este primer análisis espacial le permitirá visualizar la ubicación que asumirán en la nueva representación, que es justamente lo que plantea en el paso B *“Pasar las moléculas dimensionales al plano”*, por último propone que al conocer la ubicación inicial de los grupos en las representaciones dimensionales podrá conocer cómo deben quedar ubicados en la representación Fischer.

Aunque el estudiante expone los pasos llevados a cabo para resolver el ejercicio estos parecen ser insuficientes, sus declaraciones no permiten identificar el análisis espacial que realiza, por ejemplo imaginarse la molécula completamente extendida en el plano; así mismo es difícil determinar cómo ubico los átomos o grupos en la representación Fischer, si tuvo en cuenta la nomenclatura y la prioridad de los grupos, la cual define su ubicación en la representación Fischer.

El segundo proceso que analizaremos se presenta cuando el estudiante debe identificar el enantiómero de la (S) Leucina, este proceso se reduce solamente a dos pasos, donde el paso A es: *“Tomar el espejo y hacer la imagen especular”* evidencia la estrategia seguida (espejo) para poder visualizar como cambian las posiciones de los grupos o átomos de la molécula modelo y B *“Comparar la imagen hecha con las opciones dadas”*; se evidencia entonces una relación (+) entre la aplicación de los conceptos estudiados y la solución exitosa del ejercicio, el uso del espejo le permitió determinar cuál era el enantiómero (Ver anexo 7).

### Análisis del conocimiento procedimental hallado durante el Pre-test-Post-test

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.4
Giro de 90° eje x2D (Pre-test)	P.1: Describe el proceso que realizaste para resolver el ejercicio.	<i>Primero mire el esquema de la parte superior derecha donde muestra en que sentido se rota, luego sacar posibles hipótesis sin mirar las posibles respuestas y luego empezar a descartar de acuerdo a lo imaginado.</i>
Giro de 90° eje x2D (Post-test)	P.1: Describe el proceso que realizaste para resolver el ejercicio.	<i>Basarme en el diagrama que hay al lado del enunciado, realizar un esquema mental, imaginando donde quedarían los compuestos, de gran ayuda son los colores empleado.</i>

Tabla 31 Conocimiento procedimental identificado durante la solución del Pre-test y del Post-test

La tabla 31, presente las descripciones del E.4 respecto a cómo resolvió los ejercicios planteados durante el pre-test y el post-test; ante la tarea de rotar una molécula 2D 90° en el eje X se le pide al estudiante que explique el proceso que llevo a cabo para resolver:

Pre-test: *“Primero mire el esquema de la parte superior derecha donde muestra en que sentido se rota, luego sacar posibles hipótesis sin mirar las posibles respuestas y luego empezar a descartar de acuerdo a lo imaginado”.*

El estudiante expresa que tuvo como referencia el diagrama que se presentaba en la parte superior del ejercicio, este diagrama es lo Briggs & Bodner (2005, p.92) identifican como un referente, siendo este un punto de partida para la resolución del ejercicio, manifiesta que sin mirar las opciones dadas comienza a pensar en la opción que representa la molécula rotada, por ultimo comparar las opciones dadas con el proceso de visualización“ (...) *de acuerdo a lo imaginado*” llevo a cabo cuando se guió por el diagrama.

Con la intención de comparar el proceso realizado durante el post-test el E.4 describe que ante la misma tarea de rotación lo realizado fue:

Post-test: *“Basarme en el diagrama que hay al lado del enunciado, realizar un esquema mental, imaginando donde quedarían los compuestos, de gran ayuda son los colores empleados”.*

Es claro entonces que en ambas respuestas el estudiante señala que el diagrama (estrategia elegida) fue el elemento determinante en la solución del ejercicio; después de tener claro el giro comienza imaginado (visualizando)<sup>11</sup> como cambia las ubicaciones y posiciones de los átomos de la molécula modelo. Briggs y Bodner (2005, p.95) plantean que este proceso de visualización “implicaría la transformación de una representación mental mediante una operación tal como la rotación para producir una nueva representación mental”; finalmente el estudiante expresa que los colores empleados fueron de gran ayuda, asumimos que al representar los átomos de diferentes colores el E.4 pudo guiarse, etiquetar y rastrear los átomos y sus transformaciones dinámicas.

### *Conclusión preliminar*

Vislumbramos hasta el momento, que el estudiante es consciente de los procesos que sigue para resolver los ejercicios, aunque elabora pasos donde en algunos se evidencia la elección de estrategias desde el análisis espacial que realiza dependiendo de la tarea a resolver; sin embargo estos pasos son insuficientes y no permiten identificar de manera clara las razones por las cuales emplea y sigue estos pasos o secuencias. No se evidencia un cambio sustancial durante los procesos llevados a cabo durante el pre-test y post-test, permanece la estrategia (uso del diagrama) como punto de partida para realizar el giro y poder así visualizar, las nuevas relaciones espaciales que se establece después de la rotación.

### *Análisis Regulación*

#### *Sub-categoría: Planeación*

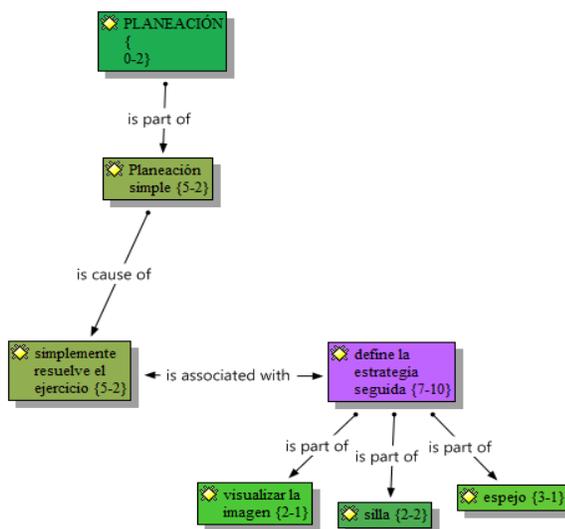
La planeación proceso que se realiza antes de enfrentar una tarea o meta escolar, Brown (citada por Tamayo 2006, p.3) establece que la planeación implica “Selección de estrategias apropiadas y la localización de factores que afectan el rendimiento; la predicción, las estrategias

---

<sup>11</sup> Proceso mental (Briggs & Bodner, 2005, p.90)

de secuenciación y la distribución del tiempo o de la atención selectiva antes de realizar la tarea; consiste en anticipar las actividades, prever resultados, enumerar pasos.

Dentro de la planeación la atención selectiva conlleva a un análisis previo; con el fin de que el estudiante conozca las demandas de la tarea, para posteriormente enumerar pasos y seleccionar las estrategias más adecuadas que le permitirá resolverla adecuadamente, la red semántica 4, presenta la estructura de los planes elaborados por el E.4, se definen como simple, los cuales carecen de atención selectiva, sólo se restringe a resolver el ejercicio.



Red Semántica 4. Planeación elaborada por el E.4, sus planes carecen de atención selectiva, sin embargo en la solución de los ejercicios se puede identificar la estrategia seguida.

#### Análisis de los planes elaborados por el E.1, durante la solución de tareas específicas

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones E.4
Isómeros del ciclohexano	P.2: Describe detalladamente, los pasos o secuencias que llevaste a cabo para resolver el ejercicio. Justifica tu respuesta.	<p><i>PasoA: Primero hacer el dibujo de la conformación.</i></p> <p><i>PasoB: Luego hacer las líneas que me muestran axial y ecuatorial con diferentes colores.</i></p> <p><i>PasoC: Aplico los conceptos para ubicar los grupos sustituyentes.</i></p>

Localizar y dibujar el enantiómero (S) de la Fenfluramina	P.1.2 Describir ¿Cuál fue la ruta que siguió para poder desarrollar los ejercicios anteriores?	A: Dibujar la imagen especular, con ayuda de un espejo. B: Buscar los centros quirales. C: dar la nomenclatura adecuada.
---	--	--

Tabla 32 Estructura y características de los planes elaborados por el E.4

La tabla 32, presenta algunos de los planes que el estudiante realiza para resolver un ejercicio específico, cuando el estudiante debe dibujar el enantiómero (S) de la fenfluramida, los pasos que lleva a cabo son los siguientes:

- A: Dibujar la imagen especular, con ayuda de un espejo.
- B: Buscar los centros quirales.
- C: dar la nomenclatura adecuada.

El primer paso que propone es dibujar la imagen especular de la molécula de partida, usando un espejo (estrategia seguida), los pasos B y C se interpretan como pasos mecánicos y carentes de reflexión, no se puede establecer con claridad el propósito de estos, finalmente el paso C le permite establecer el enantiómero pedido, asignando la configuración absoluta de las dos moléculas. Aunque el plan le permitió resolver el ejercicio adecuadamente, parece seguir un algoritmo, donde es difícil determinar el motivo por el cual siguió estos pasos. La Figura 16, ilustra el enantiómero dibujado por el estudiante, no se evidencia el giro de la molécula para cumplir con la regla de ubicar el átomo de menor prioridad en la posición de atrás.

2. Localiza el centro estereogénico de la Fenfluramina, el enantiómero S se usa como supresor el apetito, fue retirado del mercado en 1997 debido a los daños que causa en el corazón. ¿Dibuja el enantiómero S de la fenfluramina?



Figura 19 Dibujos realizados por el E.4 para determinar el enantiómero (S) de la Fenfluramida, se evidencia el análisis espacial realizado asignando prioridades y así determinar la configuración R ó S.

Al continuar con el análisis de los planes, para determinar los isómeros más estables del *cis* y *trans* 1,4 dimetil ciclohexano el E.4 elabora el siguiente plan:

*PasoA: Primero hacer el dibujo de la conformación.*

*PasoB: Luego hacer las líneas que me muestran axial y ecuatorial con diferentes colores.*

*PasoC: Aplico los conceptos para ubicar los grupos sustituyentes.*

Como primer requisito el E.4 propone dibujar la “conformación” deducimos de esta expresión, que el estudiante dibujo la estructura de silla, está representación plana le permitirá conocer cuál es el isómero más estable después de realizar la interconversión (intercambio de las posiciones axiales y ecuatoriales), explica que hace “... las líneas que me muestran axial y ecuatorial con diferentes colores”, estas “líneas” hacen referencia a los enlaces axiales y ecuatoriales; el uso de la terminología propia del tema es reducida.

Por último, ubica los grupos metil siguiendo los conceptos estudiados, aunque no tuvo dificultades para resolver el ejercicio, los pasos llevados a cabo no proporcionan información que justifique porque es importante seguirlos, las figura 17 presenta los dibujos realizados por el estudiante.

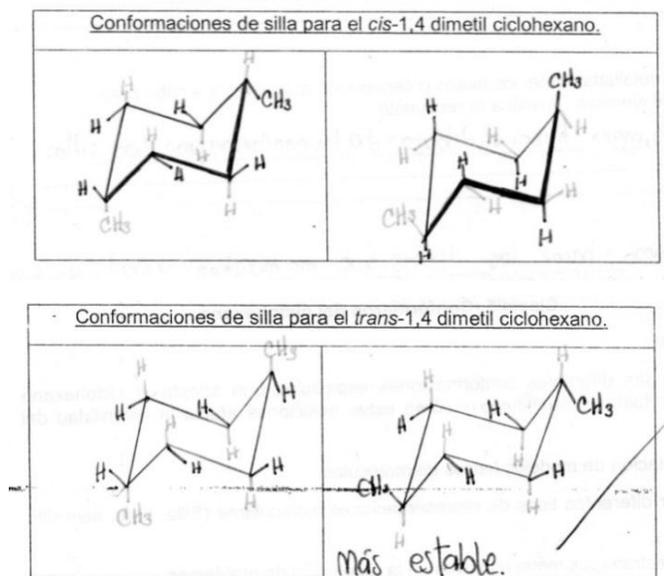


Figura 20 Dibujos realizados por el E.4 Isómeros del Cis y del Trans 1,4 dimetil ciclohexano, las figuras representa la estructura de silla y su interconversión, realizada con el fin de identificar y comparar la ubicación de los grupos metilos después de la interconversión.

Para representar los isómeros, en ambos dibujos el E.4 usa dos colores para diferenciar los enlaces de la silla; aquellos que son más claros corresponden a los enlaces (axiales) y aquellos que son más oscuros a los enlaces (ecuatoriales), sumado a esto el estudiante dibuja por medio de una línea rellena que parte de la silla se orienta hacia adelante.

*Análisis de los planes desarrollados durante el Pre-test - Post-test*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.4</b>
Identificar la imagen especular (Pre-test)	P.7: Describe el plan que elaboraste.	<i>Paso#1: Primero me visualizo cuando yo me miro al espejo y como cambian la posición. Paso#2: Devolverme al ejercicio anterior para mirar en la posición que quedaban las moléculas Paso#3: y luego empezar a imaginar y dibujar.</i>
Identificar la imagen especular (Post-test)	P.7: Describe el plan que elaboraste	<i>Paso#1: Imaginar la imagen espectral, o con la ayuda de un espejo, sería más fácil. Paso#2: Comenzar a dibujar lo primero que se ve en el espejo realizar gráficamente lo observado en la imagen espectral.</i>

Tabla 33 Resumen de los planes propuestos durante el Pre-test – Post-test.

La Tabla 33, presenta los planes elaborados por el estudiante durante el pre-test y el post-test, al analizar la estructura de ambos planes, podemos evidenciar la simplicidad de estos, durante el pre-test el estudiante esboza que primero “*me visualizo cuando yo me miro al espejo y cómo cambian la posición.*” no es clara la intencionalidad de este paso, ni tampoco el análisis espacial que expresa, luego compara las posiciones que adoptan las moléculas que corresponden a las opciones dadas en el ejercicio, “*Devolverme al ejercicio anterior para mirar en la posición que quedaban las moléculas*”, por ultimo señala que hace uso de la imaginación (relacionamos esta expresión con el proceso visualización) de la molécula respecto a cómo se vería reflejada en el espejo.

Al contrastar los dos planes propuesto, se puede determinar primero, que el número de pasos que propone durante el post-test es reducido (dos), establece como primer paso imaginar (visualizar) la imagen especular de la molécula agrega que si tuviese un espejo sería más fácil.

Concluimos que lo planes que elabora antes y después no revelan una estructura coherente asociada con los conceptos estudiados, el uso de la terminología propia del tema por parte del reducido.

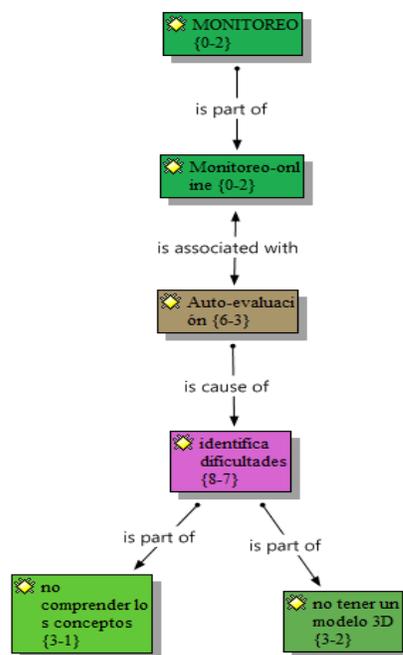
### *Conclusión preliminar*

Al analizar los planes elaborados por el E.4 estos carecen de atención selectiva, aunque propone algunos pasos, la estructura global es deficiente y no presentan una estructura fuerte relacionada con los conceptos estudiados; las estrategias seguidas se relacionan con el tipo de ejercicio, sin embargo, aunque no presento dificultades al resolver los ejercicios sólo se limita a resolverlos. No se evidencia un análisis espacial de la molécula, aspecto clave y determinante en tareas que requieren dibujar la correspondencia espacial de una molécula (imagen especular) o cuando se debe de realizar una transformación dinámica (interconversión de la silla) donde el estudiante debe revisar la orientación de los enlaces y la posición de los grupos, para poder dibujar correctamente los dos isómeros. Finalmente estos planes han sido denominados como planes simples; donde es difícil determinar los criterios que justifican porque el estudiante formulo los pasos seguidos.

### *Sub-categoría: Monitoreo*

El monitoreo tiene lugar durante el desarrollo de una tarea, el estudiante revisa el proceso que está llevando a cabo para modificar o ajustar las estrategias seleccionadas, identificando las dificultades u obstáculos que surgen mientras resuelve el ejercicio propuesto. Brown (citada por Tamayo 2006, p.2 ) establece que el monitoreo “Se refiere a la posibilidad que se tiene, en el momento de realizar la tarea, de comprender y modificar su ejecución, por ejemplo, realizar auto-evaluaciones durante el aprendizaje, para verificar, rectificar y revisar las estrategias seguidas”. El análisis respecto al monitoreo que efectúa el E.4 se representa por medio de la (Red

semántica 5), destacamos las auto-evaluaciones realizadas las cuales le permitieron identificar las dificultades que surgieron mientras resolvían los diferentes ejercicios propuestos.



Red Semántica 5. Monitoreo E.4 monitoreo online, hace referencia a las auto-evaluaciones realizadas por el estudiante durante la resolución de un ejercicio, identificando las dificultades o obstáculos presentados.

*Análisis de las auto-evaluaciones realizadas durante la solución de ejercicios en estereoquímica*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.4</b>
Giro de 90° eje x 2D (Pre-test)	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>La principal dificultad es no tener la molécula en físico con palos y bolas, porque la imaginación puede fallar.</i>
Giro mental 3D (Pre-test)	P.15: ¿Cuál crees que fue el principal obstáculos que se te presentó mientras resolvías la prueba? Explica tu respuesta.	<i>No tener palos y bolas esta ayuda didáctica hace más fácil la visualización. Aunque una gran ayuda en este trabajo fueron los colores manejados para las moléculas.</i>
Identificar qué par de moléculas son enantiómeros y diastereoisómeros	P.2: En algún momento revisaste ¿Cómo estabas resolviendo el ejercicio? Si_ No_ ¿Por qué?	<i>Sí, Porque aun hay conceptos que no tengo claros como enantiómero o diastereoisómero, por esta razón no pude resolver el ejercicio 3.</i>

Tabla 34 Auto-evaluaciones realizadas por el E.4 durante la solución de diferentes ejercicios en estereoquímica.

La tabla 34, expone las declaraciones del E.4, teniendo en cuenta que el propósito de estas auto-evaluaciones es promover la reflexión del estudiante, frente su proceso durante el desarrollo de una tarea específica; cuando se le pide que identifique qué par de moléculas son enantiómeros y diastereoisómeros y adicionalmente se le pregunta si en algún momento revisó cómo lo estaba resolviendo el E.4 responde:

*E.4: “Sí, Porque aun hay conceptos que no tengo claros como enantiómero o diastereoisómero, por esta razón no pude resolver el ejercicio 3”.*

Identifica y es conciente que al no tener claro estos conceptos, no pudo resolver el ejercicio, claramente podemos determinar que estos conceptos son confusos para el estudiante, como se evidencia en la figura 18, el E.4 no pudo identificar de las moléculas dadas cuáles eran los enantiómeros y los diastereoisómeros.

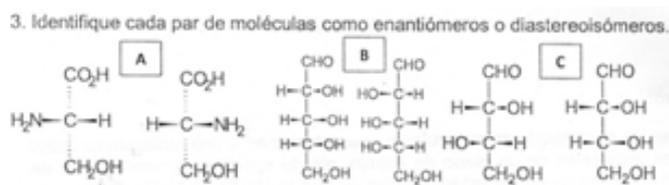


Figura 21 Identificar enantiómero y diastereoisómeros, en esta tarea el estudiante debía identificar que para de moléculas correspondía a un enantiómero y a un diastereoisómero.

Al ampliar el análisis en torno a las auto-evaluaciones realizadas por el estudiante cuando se propone girar un molécula 2D 90° en el eje X, ante la pregunta: Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio, el E.4 responde:

*“La principal dificultad es no tener la molécula en físico con palos y bolas, porque la imaginación puede fallar”.*

El estudiante manifiesta que no poseer un modelo concreto de la molécula, fue su mayor dificultad, argumenta además que la imaginación (visualización) puede fallar lo anterior se relaciona con lo planteado por Briggs & Bodner (2005, p. 97) cuando argumentan que “Una visualización incorrecta puede causar una representación errónea y dar lugar a resultados

incorrectos”. Asumimos entonces que el uso de modelos concretos en este tipo de tareas apoya y soporta el proceso de visualización mental, donde el estudiante puede corroborar con los modelos, si el resultado del giro es el adecuado o no.

Paralelamente cuando se le propone un giro mental de una molécula 3D, el estudiante explica que la principal dificultad fue:

*“No tener palos y bolas esta ayuda didáctica hace más fácil la visualización. Aunque una gran ayuda en este trabajo fueron los colores manejados para las moléculas”.*

De nuevo el estudiante establece que la dificultad presentada fue la ausencia de los modelos concretos de palos y bolas, sostiene que estos modelos facilitan la visualización; lo propuesto por el estudiante se relaciona con lo revisado por Wu & Shah 2(004) proponen “la manipulación de estos modelos podría ayudar a los estudiantes a comprender los conceptos básicos de las representaciones visuales” (p.478) . Añade que los colores usados para representar los diferentes átomos de la molécula modelo fueron útiles (ver anexo 1), creemos entonces que al usar diferentes colores para los átomos el estudiante puede, en ausencia del modelo 3D rastrear las nuevas posiciones y ubicaciones que asumen los átomos o grupos de la molécula modelo.

#### *Análisis del monitoreo llevado a cabo durante monitoreo Pre-test - Post-test*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones E.4</b>
Giro de 90° eje x 2D (Pre-test)	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>Si no fuera por el esquema que hay al lado del enunciado me confundiría en cuanto a la rotación.</i>
Giro mental (Post-test) 3D	P.15: ¿Cuál crees que fue el principal obstáculos que se te presentó mientras resolvías la prueba? Explica tu respuesta.	<i>Ninguno, las imágenes son claras, las preguntas son concretas, y lo que se pide es fácil a la imaginación.</i>

Tabla 35 Análisis del monitoreo realizado durante el Pre-test - Post-test.

Basándonos en el análisis realizado con anterioridad, concluimos que el principal obstáculo que presento el E.4 al resolver los ejercicios del pre-test, los cuales involucraban la realización

de transformaciones dinámicas (giro de 90° y giro mental) fue la ausencia de un modelo concreto, que facilitará la visualización de la rotación, por lo tanto argumenta que el diagrama o esquema del ejercicio le ayudó en esta tarea. Al comparar las respuestas suministradas durante el post-test cuando se le pide al estudiante que explique las dificultades presentadas en estos dos ejercicios el E.4 responde:

Pret-test giro de 90° eje X: *“Si no fuera por el esquema que hay al lado del enunciado me confundiría en cuanto a la rotación”*.

Post-test giro mental: *“Ninguno, las imágenes son claras, las preguntas son concretas, y lo que se pide es fácil a la imaginación”*.

Durante la realización del giro de 90° el estudiante expresa que el esquema “uso de un referente” (Briggs & Bodner, 2005) fue el que lo guio en la realización del giro, aunque explícitamente no indica la dificultad presentada, plantea que si no estuviese el diagrama se hubiese confundido al momento de realizar la rotación. A diferencia del pre-test, durante el post-test el estudiante simplemente se guio por el diagrama; para el caso del giro mental el estudiante simplemente señala que fue fácil la “imaginación” esta expresión sustenta que pudo visualizar fácilmente la rotación pedida.

### *Conclusión preliminar*

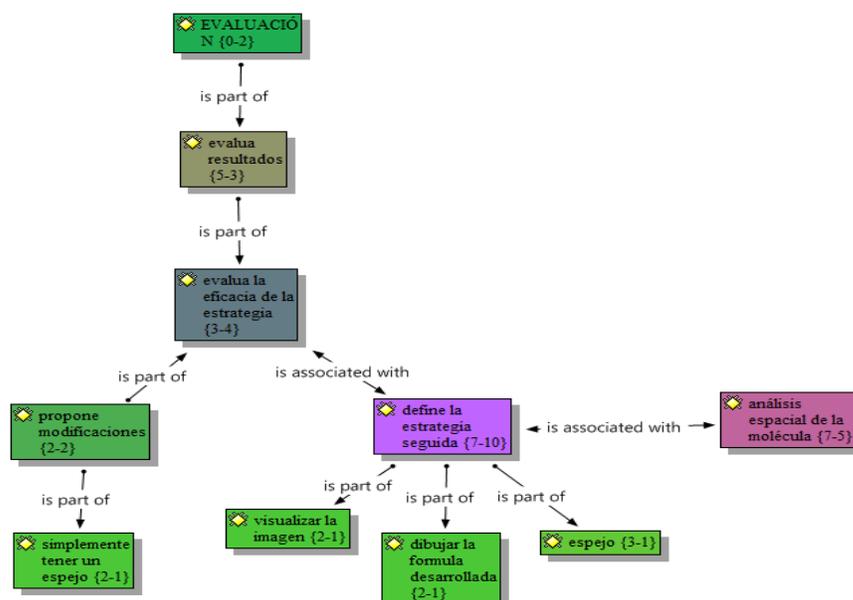
Como se expresa al inicio el objetivo principal de las auto-evaluación es propiciar la toma de conciencia y la reflexión del estudiante respecto al proceso que está llevando a cabo; sus expresiones evidencian que estos espacios de análisis le permitieron identificar los obstáculos presentados. El E.4 reconoce que el no comprender ciertos conceptos (enantiómero diastereoisómeros) fue determinante en la realización del ejercicio; reitera la importancia de emplear modelos concretos de moléculas como una alternativa para mejorar el desempeño en tareas que requieren de la visualización y rotación de moléculas (giros a un ángulo determinado y giros mentales).

Barnea & Dori (1996, p. 629) argumentan que “las dificultades que experimentan los estudiantes se debe a la abstracción, de las inobservables partículas básicas de la química”,

sumado a esto Gilbert (2007, p.12) plantea “Si los modelos juegan un papel importante en la ciencia, se deduce que deberían jugar un rol igualmente importante en la educación en ciencias”, las anteriores citan respaldan nuestra afirmación respecto a la importancia de usar estos modelos con un vehículo que apoya el proceso de visualización y la comprensión de conceptos relacionados con el nivel microscópico de la química.

*Sub-categoría: Evaluación*

La evaluación es una actividad realizada al final de la tarea escolar, tiene como objetivo evaluar los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia. Brown (citada por Tamayo, 2006, p.2) propone que la evaluación es “Realizada al final de la tarea, se refiere a la naturaleza de las acciones y decisiones tomadas por el aprendiz; evalúa los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia”.El proceso evaluativo que realiza el E.4 (Red semántica 6) en relación a los resultados obtenidos, se sustenta en la eficacia de las estrategias seguidas y su relación con los planes que elabora para resolver una tarea específica.



Red Semántica 6. Evaluación E.4: la evaluación de los resultados se vincula con la eficacia de la estrategia empleada para resolver diferentes ejercicios en el tema de estereoquímica.

*Análisis desde la eficacia de las estrategias seguidas y su relación con los planes elaborados*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones</b> E.4	<b>Plan que elaboran</b>
Señalar los centros quirales y dibujar la correspondiente imagen especular	P.2: ¿Por qué crees que las respuestas que diste son las correctas? Justifica tu respuesta.	<i>Las respuestas son correctas porque me basé en lo explicado en clase y las conclusiones que tengo en el cuaderno sobre que es quiral y aquiral.</i>	Criterios que tuvo en cuenta: El análisis espacial de la molécula y la aplicación de los conceptos de quiralidad a quiralidad
Localizar centro quirales en biomoléculas	P.2: Explica ¿Por qué considera que resolvió correctamente los ejercicios planteados en los puntos anteriores?	<i>¿Por qué? Dibujar la fórmula desarrollada es indispensable para darle solución al ejercicio.</i>	A: lo primero es dibujar la fórmula desarrollada. B: Manejar los conceptos de centro estereogénico C: Indicar con el * los centros estereogénicos
Identificar el enantiómeros (S) Fenfluramida	P.2: Explica ¿Por qué considera que resolvió correctamente los ejercicios planteados en los puntos anteriores?	<i>¿Por qué? la ayuda del espejo es esencial para darle solución al ejercicio.</i>	A: Dibujar la imagen especular, con ayuda de un espejo. B: Buscar los centros quirales. C: Dar la nomenclatura adecuada.

Tabla 36 Declaraciones relacionadas con el proceso de evaluación vinculado con la eficacia de la estrategia, definida dentro de los planes elaborados

La tabla 36, reúne las declaraciones del estudiante respecto a la eficacia de la estrategia seguida y su relación con el plan que elabora para dar solución a una tarea específica. Cuando se le pide que localice los centros estereogénicos de dos biomoléculas, el estudiante explica que resolvió adecuadamente el ejercicio porque “*Dibujar la fórmula desarrollada es indispensable para darle solución al ejercicio*”, al analizar el plan que elabora el Paso A se relaciona con la estrategia elegida “*(...) dibujar la fórmula desarrollada*”, deducimos que el estudiante evalúa la eficacia de la estrategia seguida, la figura 19, evidencia la solución exitosa de este ejercicio.

El E.4, pudo identificar los diferentes centros quirales de las biomoléculas, consideramos que el motivo por el cual propone realizar la fórmula desarrollada, se debe a que inicialmente

estas moléculas se encuentran representadas por medio de una formula semi-desarrollada; por lo tanto la visualización de la conectividad (manera en que están unidos los átomos entre sí) y la composición (tipo y número de átomos presentes) de la molécula (Juaristi, 2005: 43) no es muy explícita, por tal motivo redibuja la molécula.

**Actividad individual:**

1. Localiza los centros estereogénicos en las siguientes Biomoléculas.

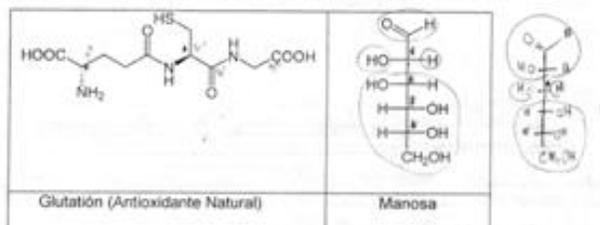


Figura 22 Identificación de centros quirales en biomoléculas, el estudiante re dibuja una de las moléculas, con el propósito de poder identificar los grupos y átomos que la componen.

Queda por aclarar entonces, que aunque el estudiante no dibuja la formula desarrollada de las biomoléculas, la grafica muestra que re-dibuja una de las moléculas (Manosa), lo anterior se relaciona con los hallazgos de Bodner & Domin (2000) al encontrar que los estudiantes que resolvían exitosamente los ejercicios re-dibujaban la molécula por una representación que mostrará todos los átomos de Hidrógeno del compuesto.

Otro ejemplo que soporta la evaluación del estudiante respecto a la estrategia, se manifiesta cuando se le pide que asigne la configuración R-S y que dibuje el enantiómero (S) de la Fenfluramida, el estudiante considera que lo resolvió adecuadamente porque *“la ayuda del espejo es esencial para darle solución al ejercicio”*. Dentro del plan que elabora el estudiante, el paso A es: *“Dibujar la imagen especular, con ayuda de un espejo”*, identificamos que la estrategia elegida fue aplicar el plano de espejo. Este proceso se relaciona con la aplicación de los conceptos estudiados (un par de enantiómeros es simplemente un par de isómeros que son imágenes especulares que no pueden ser superpuestas).

2. Localiza el centro estereogénico de la Fenfluramina, el enantiómero S se usa como supresor el apetito, fue retirado del mercado en 1997 debido a los daños que causa en el corazón. ¿Dibuja el enantiómero S de la fenfluramina?

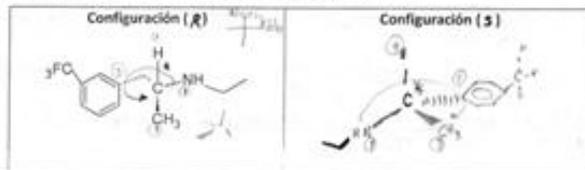


Figura 23 Dibujos realizados por el E.4 para determinar el enantiómero (S) de la Fenfluramida, asignando prioridad e identificando el enantiómero pedido.

La Figura 23, corrobora que el E.4 pudo identificar adecuadamente el enantiómero que se pedía, la correspondencia espacial al dibujar los grupos cambia; al dibujar el enantiómero (S) Redibuja el grupo Fenil representando una adecuada distribución de los seis electrones  $\pi$ . Bucat & Mocerino (2009, p.17) considera que la representación del benceno donde se representa la resonancia por medio de un círculo, es menos propensa a generar malinterpretaciones durante la enseñanza y el aprendizaje.

Así mismo, la figura evidencia que no se cumple con el principio, de que el Hidrógeno se ubique lejos del observador, lo anterior se relaciona con lo hallado por (Kuo et al. 2004) (Citados por Bucat & Mocerino, 2009, p. 25) al estudiar las estrategias que usan los estudiantes para determinar la configuración R-S, los cuales consideraban que “(...) las tareas más fáciles eran cuando el grupo de menor prioridad estaba orientado hacia la parte posterior o lateral de la representación molecular en lugar de la parte superior o en la parte delantera”.

Para concluir, después de identificar y localizar los centros estereogénicos de tres moléculas, se le pide al estudiante que justifique porque cree que resolvió adecuadamente el ejercicio propuesto, el E.4 responde:

*“Las respuestas son correctas porque me basé en lo explicado en clase y las conclusiones que tengo en el cuaderno sobre que es quiral y aquiral”.*

Aunque está justificación sólo evidencia la evaluación de los resultados, al analizar los criterios que tuvo en cuenta para poder identificar cada una de las moléculas, se evidencia su análisis espacial:

Molécula A (Ácido, 2 amino propanoico): *Quiral “porque...tiene 4 sustituyentes diferentes unidos al átomo de carbono central”.*

Molécula B: *Quiral (1, Cloro etanol): “Porqué una molécula quiral no puede ser superpuesta con su imagen especular.”.*

Estos criterios revelan un análisis espacial que efectúa, este proceso de observación le permite identificar si un grupo o átomo se repite o es diferente. Así mismo un planteamiento interesante es cuando el estudiante argumenta que una molécula quiral no se superpone con su imagen especular, Fesseden (1983, p.140) define: “una molécula quiral no puede ser superpuesta con su imagen especular”. Lo anterior nos permite evidencia la aplicación de los conceptos estudiados; la ausencia de conciencia respecto a la estrategia que siguió para resolver los ejercicios, demuestra los procesos algorítmicos que ejecuta, tal y como lo plantean Campanario, Cuerva, Moya & otero (1998, p.40) “(...) llevados por el operativismo lógico, los alumnos rara vez analizan la validez de las soluciones que obtienen en los problemas”.

#### *Análisis en torno a las evaluaciones realizadas durante el Pre-test y el Post-test*

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones Evaluación E.4	Plan que elabora E.4
Imagen especular (Pre-test)	P.8: ¿Por qué piensas que estos pasos te permitieron resolver el ejercicio?	<i>Porque creo que con esos pasos pude llegar a la respuesta correcta.</i>	<i>Paso#1: Primero me visualizo cuando yo me miro al espejo y cómo cambian la posición. Paso#2: Devolverme al ejercicio anterior para mirar en la posición que quedaban las moléculas. Paso#3: y luego empezar a imaginar y dibujar. Paso#4: No responde</i>
	P.9: ¿Qué pasos eliminarías?	<i>Eliminaría el de tener que devolverme a ver moléculas anteriores visualizadas en el espejo.</i>	
	P.10: ¿Qué pasos nuevos propondrías?	<i>Cargar un espejo, este daría la respuesta más acertada.</i>	

Imagen especular (Post-test)	P.8: ¿Por qué piensas que estos pasos le permitieron resolver el ejercicio?	<i>Porque al mirar la imagen realizada anteriormente y comparándola con las respuestas anteriores, coincide mi imagen con la respuesta B.</i>	<i>Paso#1: Imaginar la imagen espectral, o con la ayuda de un espejo, sería más fácil. Paso#2: Comenzar a dibujar lo primero que se ve en el espejo realizar gráficamente lo observado en la imagen Paso#3: No responde Espectral.</i>
	P.9: ¿Qué pasos eliminarías?	<i>Ninguno.</i>	
	P.10: ¿Qué pasos nuevos propondrías?	<i>La ayuda del espejo es más que suficiente</i>	

Tabla 37 Análisis en torno a las evaluaciones realizadas durante el Pre-test y el Post-test, en relación con los planes elaborados.

La tabla 37, expone las respuestas otorgadas por el estudiante cuando justifica ¿Por qué? el plan que elabora durante el pre y post-test le permitió identificar adecuadamente la imagen especular de una molécula en 3D. El análisis de estos planes evidencia un cambio respecto al número de pasos que propone durante el pre-test (3 pasos) y post-test (2 pasos) al explicar porque considera que el plan fue efectivo el E.4 responde:

Pre-test: *“Porque creo que con esos pasos pude llegar a la respuesta correcta”.*

Post-test: *“Porque al mirar la imagen realizada anteriormente y comparándola con las respuestas anteriores, coincide mi imagen con la respuesta B”.*

Sus respuestas no brinda información sustancial respecto a la evaluación de los resultados obtenidos, dentro del plan que elabora se identifica el análisis espacial que realiza al comparar las posiciones de las moléculas con las opciones dadas y por último señala que imagino (procesos asociado con la visualización) y dibujo. Por el contrario durante el post-test el estudiante compara la imagen que realiza con las opciones dadas identificando de manera (+) la opción que representa la imagen especular de la molécula modelo. Su respuesta devela el proceso que realiza y la evaluación de la estrategia seguida (dibujar) que fue lo planteado en el plan *“Comenzar a dibujar lo primero que se ve en el espejo realizar gráficamente lo observado en la imagen espectral”.*

Una última observación respecto a la evaluación que realiza el E.4 es cuando se le pregunta en el prest-test ¿Qué pasos eliminaría? Responde: “*Eliminaría el de tener que devolverme a ver moléculas anteriores visualizadas en el espejo*”, esta declaración genera particular interés, si bien durante la planeación este análisis espacial es determinante para poder dibujar y comparar la correspondencia espacial de las moléculas, el estudiante lo elimina; posteriormente cuando se le pregunta ¿Qué pasos nuevos propondrías? Responde: “*Cargar un espejo, este daría la respuesta más acertada*”, lo anterior evidencia la ausencia de reflexión metacognitiva en relación a la aplicación del plan y a la evaluación de la eficacia del mismo, el estudiante simplemente reduce la solución del ejercicio a la aplicación de un plano de espejo; percibiéndose de nuevo cuando en el post-test responde que el nuevo paso que propondría sería: “*La ayuda del espejo es más que suficiente*”. Como dato adicional el estudiante resolvió exitosamente los ejercicios.

### *Conclusión preliminar*

Se deduce del análisis anterior, los procesos evaluativos llevados a cabo por el estudiante frente a los resultados obtenidos y frente a la eficacia de las estrategias seguidas (redibujar la molécula de partida aplicar plano de espejo, etcétera) relacionadas con los planes que diseña. En algunos ejercicios el estudiante nos es conciente del proceso que lleva a cabo para resolver el ejercicio y justifica su respuesta en la simple aplicación los conceptos.

Finalmente los planes que elabora el estudiante son simples, esta afirmación se fundamenta desde la disminución de pasos durante el pre-test y post-test y en las modificaciones que propone para los planes; resulta inquietante que el estudiante simplemente reduzca la solución del ejercicio (Imagen especular) a la aplicación de un espejo y la posterior representación de la molécula reflejada, evidenciamos entonces los procesos mecánicos y algorítmicos que están acostumbrados a realizar. Hobden (Citado por Solaz-Portolés, Sanjosé & Gómez, 2011, p. 788) señala que con frecuencia “los problemas planteados en las aulas suelen ser mayoritariamente de carácter algorítmico, esto es, mera aplicación rutinaria de reglas, leyes y fórmulas, donde se exige solamente resolver problemas similares a los ya resueltos”.

## *Conclusión*

### *Categoría Metacognición*

#### Sub-categoría Conciencia E.4

- Aunque el estudiante es conciente del objetivo de la tarea, la conciencia frente al proceso que realiza es limitada, sus explicaciones no proporcionan suficiente información respecto al proceso que llevo a cabo para llegar a la respuesta. Respecto a la toma de conciencia frente a su desempeño, es claro que puede reconocer aquellos factores que inciden en el desarrollo de ciertos ejercicios que involucran transformaciones dinámicas (Rotación de una molécula 180° eje *Y* o la rotación mental de una molécula 3D) donde se puede establecer que el mayor obstáculo fue el no poseer un modelo 3D de las moléculas.
- Con el fin de promover la toma de conciencia de los estudiantes frente a los procesos cognitivos que emplean para resolver ejercicios, Livingston (1997, p.4) sostiene que para las intervenciones metacognitivas se debe “(...) enseñarle a los estudiantes cómo ser más conscientes de sus procesos de aprendizaje y sus productos”. Así mismo Kuhn (2000) concibe que el desarrollo metacognitivo es un proceso prolongado, que se fortalece y agudiza bajo el control consciente que ejerce el individuo a través del tiempo cuando gana experiencia en actividades metacognitivas.

#### Sub-categoría Conocimiento E.4

- Entendiendo el conocimiento declarativo como un saber qué (Kuhn, 2000), de tipo intra-individual, el estudiante manifiesta conocimiento de sí mismo como aprendiz, cuando puede expresar que sabe desde el análisis y conocimiento espacial que expresa al justificar por que puede interpretar una representación molecular (Desarrolla, semidesarrollada, 3D) o cuando puede hacer explícitos los criterios que le permiten establecer si una molécula es quiral o aquiral.

- Así mismo el estudiante expresa aquello que no sabe y por qué durante la comprensión y aplicación de los conceptos estudiados (Isómeros geométricos, Conformaciones de los compuestos cíclicos, etc.) reconoce además las dificultades que se presentan (no comprender el concepto) esta toma de conciencia lo lleva a proponer una serie de actividades que según su juicio, podrán mejorar la comprensión de tales conceptos, haciendo reiterado énfasis en la utilización de los modelos 3D como una ayuda didáctica que contribuirán a la comprensión de estos conceptos. Lo anterior se relaciona con lo planteado por Parrill & Gervay (1996) sobre la importancia de los modelos físicos tridimensionales como una herramienta que aumenta la confianza de los estudiantes al demostrar por medio de ellos su comprensión de los principios en estereoquímica.
- Kuhn (2000) relaciona el conocimiento procedimental con las estrategias y las tareas, para Tamayo (2007) es un “saber sobre cómo se hacen las cosas (...)”, este tipo de conocimiento hace parte de las explicaciones propuestas por el estudiante cuando expresa el proceso que llevo a cabo para resolver un ejercicio, donde se identifica la estrategia seguida (re-dibujar la molécula, aplicar un plano de espejo, uso de un diagrama, etc.), si bien el estudiante formula paso, estos son insuficientes y no permiten identificar de manera clara las razones conceptuales por las cuales emplea y sigue estos pasos o secuencias. Schraw & Moshman (1995) indican que “los estudios didácticos respaldan la importancia de ayudar a los estudiantes a aumentar su conocimiento procedimental para mejorar su desempeño en la resolución de problemas”.

#### Sub-categoría Regulación E.4

El diseño de las diferentes actividades metacognitivas bajo un modelo constructivista (Martí, 1995, Tamayo, 2006) permitió establecer los procesos metacognitivos o lo que para Pulmones (2007) evidencian un comportamiento metacognitivo. Por su parte Brown & Sullivan (1987) consideran que la regulación de la actividad cognitiva significa; que el estudiante planea, monitorea y evalúa. Se discuten entonces, estos tres componentes durante la resolución de ejercicios en estereoquímica:

- La planeación como actividad inicial, permite al estudiante conocer las demandas de la tarea; los planes que elabora el E.4 han sido denominados como simples, carentes de una estructura lógica, sólo en algunos casos se puede identificar la elección de estrategias (usar un espejo, dibujar la estructura de silla, etc.); el estudiante simplemente resuelve los ejercicios, no se evidencia un análisis espacial de las moléculas aspecto relevante en tareas que involucran transformaciones dinámicas, siendo difícil determinar los criterios que justifican porque formulo estos pasos.
- El monitoreo llevado a cabo mientras se resuelve una tarea específica, tiene la finalidad de vigilar el proceso que se está llevando a cabo; identificando los obstáculos que se presentan para rectificar o modificar las estrategias elegidas. Las auto-evaluaciones (Angulo & Garcia, 1997) realizadas por el E.4 le posibilitaron detectar las principales dificultades que surgieron mientras resolvía ejercicios de rotación molecular (giros de 90° de una moléculas 2D, giro mental, etc.) estas dificultades se generan por la poca comprensión y aplicación de determinados conceptos (enantiómeros y diastereoisómeros) y segundo por la ausencia de modelo físicos de moléculas que le permitan al estudiante manipular y construir las moléculas modelo.
- Lo anterior se relaciona con lo propuesto por Barnea & Dori (1996, p.629) cuando señalan que “las dificultades que experimentan los estudiantes se debe a la abstracción, de las inobservables partículas básicas de la química”, como lo son las moléculas, sumado a esto Gilbert (2007) plantea que “Si los modelos juegan un papel importante en la ciencia, se deduce que deberían jugar un rol igualmente importante en la educación en ciencias”. Las citas anteriores justifican nuestro trabajo, el incluía la manipulación de modelos físicos durante las clases, como vehículo que apoya el proceso de visualización y comprensión del nivel microscópico de la química.
- Por último, la evaluación como una actividad final permite evaluar los resultados del plan (Brown & Sullivan, 1987) y los resultados de las estrategias seguidas en términos de eficacia (Tamayo, 2007). Se hace evidente este componente cuando el estudiante evalúa los resultados obtenidos respecto a la eficacia de las estrategias seguidas, (al identificar

los centros estereogénicos de diversas moléculas) las cuales se relacionan a su vez con el plan que propone. Dentro de la evaluación el estudiante propone modificaciones al plan inicial lo cual es inquietante por el número de pasos que reduce lo que conduce al estudiante a lo que (Campanario, Moya, Cuerva & Otero, 1998) denominan como “operativismo mecánico” dejando de lado la reflexión del proceso llevado a cabo.

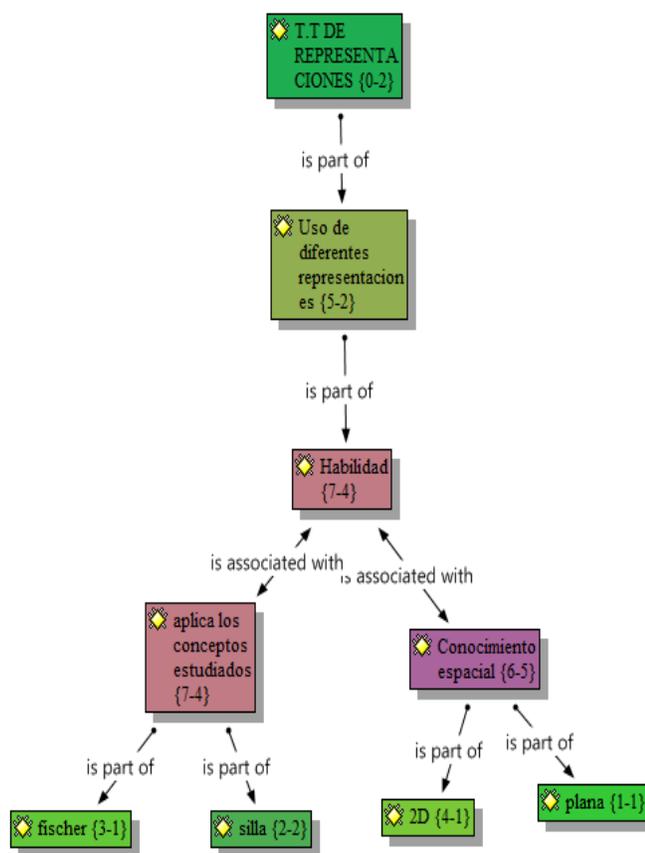
Aunque se pudo caracterizar los procesos metacognitivos del E.4, las relaciones construidas en la red semántica 9 son débiles; esta afirmación se deriva como consecuencia de las reducidas manifestaciones del estudiante ante las diferentes preguntas metacognitivas, consideramos que esto se debe, a la poca familiaridad que tiene con este tipo de metodologías que promueve la reflexión sobre los propios procesos de aprendizajes. Lin, Schwartz & Hanato (2005) señalan que uno de los problemas que puede enfrentar el docente al momento de incorporar la metacognición en el aula es el rechazo de los estudiantes a la incorporación de una nueva metodología, debido a que no están familiarizado con sus uso.

Por último se plantea la necesidad de incorporar la reflexión metacognitiva dentro del aula de ciencias, especialmente en aquellas actividades dentro del aprendizaje de las ciencias como lo es la resolución de problemas, tal y como lo plantea (Rickey & Stacy, 2001, p.917) el interés de los educadores de química por la metacognición radica en “un buen monitoreo y regulación del conocimiento puede mejorar exitosamente la solución de problemas”. Re validando lo anterior Mayer (1998) (citado por Solaz-Portolés, Sanjosé & Gómez, 2001, p.790) considera que “En resolución de problemas las destrezas metacognitivas son fundamentales”.



*Análisis sub-categoría: Traducción y transformación de diferentes representaciones moleculares.*

Durante la enseñanza de la estereoquímica se emplearon diversas representaciones moleculares (planas, dimensionales y tridimensionales, entre otras), la traducción y transformación de diversas representaciones moleculares, requiere que el estudiante conozca e interprete sus significados. Estos autores Wu, Krajcik, Soloway; 2001; Wu & Shah, 2004; Padalkar & Hegarty 2012, consideran que para transformar y traducir representaciones 2D-3D y viceversa, se requiere de habilidades espaciales, para que el estudiante pueda deducir la información espacial y conceptual que integran estas representaciones. El análisis que se expone a continuación se resume en la (red semántica 7), donde se identificó la habilidad del E.4 para interpretar y transformar cierto tipo de representación molecular, desde el conocimiento espacial que posee y su relación con la aplicación de los conceptos estudiados.



Red Semántica 7. Habilidad para traducción y transformación diferentes representaciones moleculares E.4: desde el conocimiento espacial que posee y su relación con la aplicación de los conceptos estudiado.

Análisis de la habilidad para interpretar diferentes representaciones moleculares

Ejercicio	Pregunta	Manifestaciones Evaluación E.4
Auto-evaluación	P.4: Señala con una X ¿Tuviste dificultades al interpretar cada una de las siguientes representaciones?	<i>Plana (No) ¿Por qué? Es la que se encuentra en un solo plano del espacio, lineal.</i> <i>Dimensional (No) ¿Por qué? la que está situada en los 3 planos (x, y, z).</i> <i>Newman (No) ¿Por qué? Es la representación gráfica de los compuestos y sus movimientos en el espacio.</i>
Proyección Fischer a (R) (S)	P.4: Explique ¿Cuál consideras que fue la representación más difícil de interpretar?	<i>Dimensional: ¿Por qué? Ninguna, porque creo que tengo los conceptos claros.</i> <i>Fischer: ¿Por qué? Ninguna, porque con los ejemplos y los conceptos se puede resolver fácilmente.</i>
Taller extra-clase estereoquímica	P.5: Señale con un (+) y con un (-) ¿Cuáles fueron las representaciones más fáciles y difíciles de interpretar mientras resolvías los ejercicios propuestos?	<i>Semidesarrollada (+) ¿Por qué? Porque se pueden ver los átomos sustituyentes.</i> <i>Dimensional (+) ¿Por qué? Porque se pueden observar las ubicaciones espaciales.</i> <i>Newman (+) ¿Por qué? Porque ya se tienen claros los conceptos.</i> <i>Fischer (+) ¿Por qué? la ubicación de los grupos voluminosos en los extremos y luego dar el orden de prioridad para la nomenclatura es más fácil.</i> <i>3D (+) ¿Por qué? Es más fácil ubicarla físicamente.</i>

Tabla 38 Agrupa las respuestas del E.4 respecto a su habilidad para traducir y transformar diferentes representaciones moleculares.

La tabla 38, expone las respuesta del E.4 ante las preguntas que indagaban por la habilidad o dificultad de trabajar con diferentes representaciones moleculares, con el fin de conocer las razones por las cuales un estudiante puede interpretar una representación dada, durante la auto-evaluación se le pide al estudiante que marca con una X aquella representación cuya interpretación fue difícil el estudiante responde:

Plana (No) ¿Por qué? “*Es la que se encuentra en un solo plano del espacio, lineal*”.

Dimensional (No) ¿Por qué? “*La que está situada en los 3 planos (x, y, z)*”.

Newman (No) ¿Por qué? *“Es la representación gráfica de los compuestos y sus movimientos en el espacio”*.

Plantea que no tuvo dificultad al interpretar estas tres representaciones, sus respuestas evidencian el conocimiento espacial<sup>12</sup> que posee respecto a la información espacial que codifican estas representaciones, como es el caso de la representación plana *“(…) se encuentra en un solo plano del espacio, lineal”* y dimensional *“la que está situada en los 3 planos (x, y, z)”*, el estudiante identifica los tres ejes del sistema cartesiano. Es interesante la explicación que otorga sobre la representación Newman *“representación gráfica de los compuestos y sus movimientos en el espacio”*, aunque su definición guarda una mínima relación con los conceptos estudiados, no se puede establecer con claridad si tuvo o no dificultades al interpretar esta representación.

Enriqueciendo el análisis, cuando el estudiante debe identificar el centro quiral y realizar la imagen especular de las moléculas modelo, se le pregunta si fue fácil interpretar las representaciones moleculares empleada el estudiante responde:

*“Sí, Porque son sencillas y se acercan mucho a las moléculas explicadas en clase”*.

Retomando el primer ejemplo, de nuevo el estudiante manifiesta no tener dificultades al interpretar las representaciones dimensionales, Bodner & Domin (2000, p.25) en su estudio sobre el rol de las representaciones en la solución de problemas en química, plantean que “los estudiantes y (muchos químicos profesionales) están más familiarizados con las estructuras de moléculas en línea que con las proyecciones Newman”. Asumimos que la habilidad para interpretar esta representación, se debe a la familiaridad que tiene con la misma, usada con frecuencia en cursos anteriores de química.

Para el caso de la representación semidesarrollada el estudiante señala que *“se pueden ver los átomos sustituyentes”*, y para la representación desarrollada *“muestra todos los átomos”*, de las anteriores declaraciones se concluye que la habilidad del estudiante para interpretarlas se deriva del conocimiento espacial que ha desarrollado, por eso puede establecer que en una representación semidesarrollada sólo se visualizan algunos átomo o grupos de la molécula, caso

---

<sup>12</sup> Conocimiento espacial: Hace referencia al conocimiento que el estudiante tiene respecto a la orientación y ubicación espacial de los átomos o grupos en una molécula o en una representación.

contrario ocurre con la desarrollada en la cual se puede percibir la conectividad (Juaristi, 2005) de la molécula con todos los átomos o grupos de la misma.

E.4 manifiesta que la representación 3D “(...) *Es más fácil ubicarla físicamente*”, está ubicada físicamente, la interpretamos desde la utilidad que brindan los modelos concretos en la visualización y manipulación de las estructuras moleculares, sumado a lo anterior Gilbert (2010, p.8) sostiene que “la mayor características de estos modelos es que retiene las tres dimensiones de lo que está siendo representado”.

Continuando con el análisis, al transformar una representación Fischer a una representación dimensional y viceversa el estudiante manifiesta que no tuvo dificultades con este tipo de representaciones:

*“Dimensional: ¿Por qué? Ninguna, porque creo que tengo los conceptos claros”.*

*“Fischer: ¿Por qué? Ninguna, porque con los ejemplos y los conceptos se puede resolver fácilmente”.*

Sus argumentos se apoyan en la aplicación de los conceptos estudiados, el estudiante puede no es conciente del alto nivel espacial que se requiere para realizar este tipo de transformaciones, tampoco monitorea su proceso la Figura 21, presenta los dibujos realizados por el E.4 ante la tarea de transformar una representación Fischer a Dimensional y viceversa.

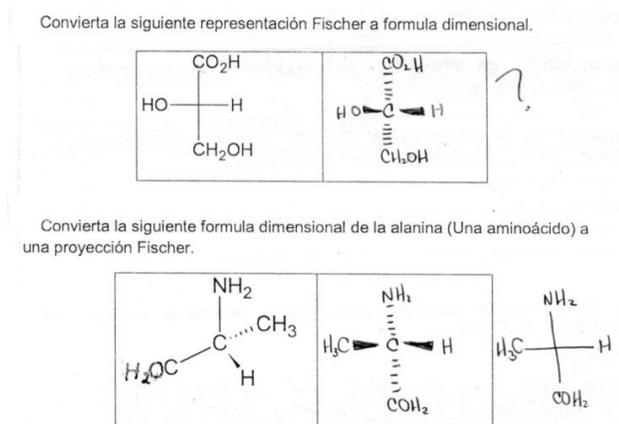


Figura 24 Dibujos elaborados por el E.4, allí se representa la transformación de representaciones 2D-Fischer y viceversa.

Al estudiar los dibujos elaborados por el estudiante, resulta interesante encontrar que aunque inicialmente plantea no tener dificultades al interpretar la representación Fischer, la figura 21, demuestra que el estudiante no realiza la transformación requerida, simplemente re-dibuja la molécula (ácido 2,3 dihidroxi propanoico) representando las ubicaciones espaciales que ocupan aquellos átomos o grupos que se encuentran lejos y cerca del observador. Podemos deducir entonces que el estudiante no es conciente del objetivo de la tarea y como lo plantea Padalkar & Hegarty (2012, p.2162) el dominio de los diagramas Fischer y Newman “...es un reto, debido a que utilizan diferentes convenciones para representarlas tres dimensiones (3-D) disposición de los átomos de las moléculas en dos dimensiones en la página impresa”.

Por el contrario cuando debe pasar de una representación dimensional (ácido 2, amino propanoico) a un Fischer, el estudiante obtiene un resultado (+) entre la aplicación de los conceptos estudiados y la solución del ejercicio; expresa que es fácil *“la ubicación de los grupos voluminosos en los extremos y luego dar el orden de prioridad para la nomenclatura es más fácil”*. Está declaración soporta la aplicación de los conceptos estudiados durante las clases y el conocimiento espacial que ha construido respecto a las convenciones espaciales que caracteriza esta representación.

Sintetizando lo anterior, el análisis expuesto se nutre con los porcentajes establecidos en la Gráfica.3 (Representaciones que son interpretadas con facilidad por los estudiantes) donde se cuantifica las respuestas de todos los estudiantes del curso (26), al explicar cuál fue la representación más fácil de interpretar, donde el 38% de los estudiantes manifiestan aptitudes al interpretar la representación dimensional, seguida de un 35% por la representación desarrollada y sólo un 12% manifiesta habilidad al interpretar una representación Fischer.

### *Conclusión preliminar*

Podemos entonces establecer que la habilidad del E.4 para interpretar ciertas representaciones moleculares (dimensional, 3D, desarrollada, semidesarrollada, etc.) se apoya en su conocimiento espacial, esto se hace evidente cuando explica la naturaleza espacial de estas

representaciones y la visualización que ofrecen respecto a la conectividad y composición de la moléculas (Juaristi, 2005).

Cabe resaltar que aunque el estudiante no plantea tener dificultades al interpretar una representación Fischer y transformarla en una representación dimensional, al contrastar su respuesta con los dibujos que proporciona es evidente que no tuvo éxito realizando la transformación, este hallazgo se corresponde con la información proporcionada por la Gráfica 2, donde el 53% de los estudiantes tuvieron dificultades al interpretar la representación Fischer y sólo el 27% la dimensional. Parrill & Gervay (1996, p.2) consideran y recomienda que “la disponibilidad de múltiples representaciones de una molécula dada, ayuda a los estudiantes a construir una correlación mental entre varias representaciones de una estructura dada”.

#### *Análisis sub-categoría: Relaciones espaciales y Visualización*

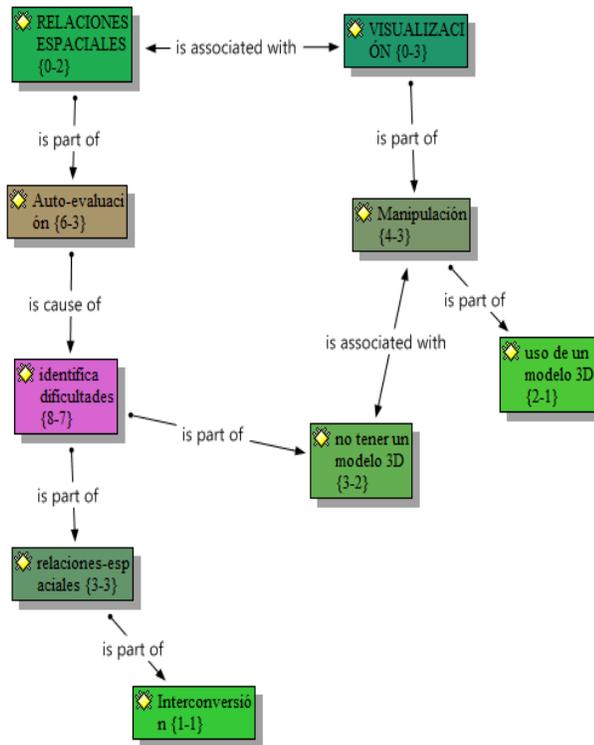
La habilidad para realizar giros mentales o giros de moléculas a un ángulo determinado, se estudia relacionando dos procesos inherentes a este tipo de tareas: a) las relaciones espaciales, Lohaman (1979) citado por (Harley & Towns, 2011, p.352), considera que las relaciones espaciales “(...)se compone de las tareas que requieren rotación mental de un objeto ya sea en el plano(2-D) o fuera del plano(3-D)” y b) la visualización entendida como “La habilidad de construir y manipular imágenes mentales tridimensionales de dibujos en 2D-3D y viceversa”. (Pribyl & Bodner, 1987).

En relación con lo antes planteado, para que el estudiante pueda resolver tareas que implican este tipo de transformaciones se requiere de la habilidad para establecer las relaciones espaciales resultantes de estas transformaciones dinámicas y, así mismo, de la habilidad para visualizar<sup>13</sup>, para poder determinar cómo luciría la molécula después de realizado el giro. Por lo tanto, las relaciones espaciales y los procesos de visualización se analizarán de manera conjunta, tomando como referencia lo propuesto por Briggs & Domin (2005, p.96) cuando postulan que: “El proceso de visualización parece preceder la operación de rotación en una tarea de rotación molecular mental”.

---

<sup>13</sup> “<sup>1</sup>Formar una imagen mental de: <sup>2</sup>Hacer (algo) visible al ojo.” Oxford diccionario online.

La habilidad del estudiante para resolver tareas que implican este tipo de transformaciones espaciales (giros mentales, giros a diferentes ángulos y nomenclatura R-S), se analiza desde las auto-evaluaciones que realiza mientras resuelve este tipo de ejercicios, con el fin de poder determinar cuáles son las causas que dificultan la adecuada solución de los ejercicios. El siguiente análisis se resume en la (red semántica. 8) la cual ilustra la relación que se establece entre la visualización y las relaciones espaciales, así mismo por medio de las auto-evaluaciones que realiza el estudiante se determinaron los factores que inciden en la solución de los ejercicios propuestos.



Red Semántica 8 E.4: El análisis de las relaciones espaciales y del proceso de visualización se construye en torno a las auto-evaluaciones que realiza el estudiante durante la solución de estos ejercicios.

*Análisis de la habilidad al realizar giros mentales y giros a diferentes ángulos*

<b>Ejercicio</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Manifestaciones Evaluación E.4</b>
Giro de 90° eje X 2D (Pre-test)	P.2 Explica las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.	<i>La principal dificultad es no tener la molécula en físico con palos y bolas, porque la imaginación puede fallar.</i>
Giro de 180° eje y 2D	P.5: ¿Tuviste dificultades al girar la molécula según el ángulo pedido? Si_ No_ ¿Por qué?	<i>No, Porque las ilustraciones son precisas y es una molécula sencilla.</i>
Giro mental de una molécula en 2D	P.11: ¿Crees que posees habilidades para realizar giros mentales de moléculas? Si_ No_ ¿Por qué?	<i>Sí, Porque me es fácil imaginarlos, aunque opino que la ayuda física es importante e indispensable.</i>
Taller extra-clase estereoquímica	P.1: ¿Consideras que es necesario el uso de modelos físicos para resolver el ejercicio anterior?	<i>Sí, Porque siempre serán una ayuda didáctica, una visión de lo que microscópicamente es en realidad.</i>

Tabla 39 Resumen de las declaraciones del E.4 respecto a la habilidad o dificultad de realizar giros mentales y giros de moléculas a diferentes ángulos.

La tabla 39, agrupa las declaraciones del E.4 ante las preguntas que averiguaban por la habilidad o dificultad para realizar los diferentes giros propuesto, cuando se le plantea al estudiante realizar un giro de 180° de una molécula 2D en el eje X y posteriormente se le pregunta si tuvo dificultades al resolver el ejercicio el estudiante responde que:

Pret-test: *“No, Porque las ilustraciones son precisas y es una molécula sencilla”.*

Post-test: *“No, porque la figura anterior es muy específica, la pregunta fue clara”.*

En ambas respuestas el estudiante aseguró no tener dificultades para resolverlos, debido a que las ilustraciones o figuras son claras y explícitas. Para el caso particular de este ejercicio la Figura 25, ilustra cómo se presentó el ejercicio al estudiante para que pudiera determinar si después de realizado el giro la molécula B es iguala a la A. Deducimos que la habilidad para resolver el ejercicio, se relaciona con la representación usada y con las instrucciones que se dan

para que pueda efectuarse la transformación, este diagrama o figura se relaciona con lo planteado por Briggs & Bodner (2005, p.92) cuando aseguran “que uno de los componentes de un modelo de visualización de moléculas, es un referente definido”.

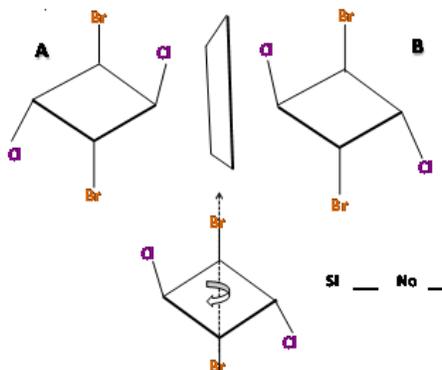


Figura 25 Tipo de ejercicio presentado durante el pre-test y post-test, el estudiante debía girar la molécula 2D 180° en el eje Y.

*Análisis de las auto-evaluaciones realizadas durante el pre-test y post-test en ejercicios que involucran la visualización y realización de giros mentales y giros de moléculas a diferentes ángulos*

Retomando las conclusiones establecidas con anterioridad, dentro del monitoreo-online las auto-evaluaciones potencializan la toma de conciencia por parte del estudiante, respecto al proceso que llevado a cabo mientras resuelve tareas que involucran la rotación de moléculas, donde la visualización juega un papel determinante. Esta reflexión le permite identificar los obstáculos que se presentan cuando debía realizar un giro de 90° en el eje X (Pre-test) de una molécula 2D y el giro mental de una molécula 3D (Pre-test) cuando se le pregunta si tuvo dificultades durante la solución de los ejercicios el E.4 responde:

*Giro de 90° eje x 2D: “La principal dificultad es no tener la molécula en físico con palos y bolas, porque la imaginación puede fallar”.*

*Giro mental 3D: “No tener palos y bolas esta ayuda didáctica hace más fácil la visualización. Aunque una gran ayuda en este trabajo fueron los colores manejados para las moléculas”.*

Se deriva de las anteriores declaraciones, que la ausencia de los modelos físicos intervino en la solución de los ejercicios, señala además que la imaginación (proceso asociado con la

visualización mental de la molécula) puede fallar, esta toma de conciencia le permite prever este posible obstáculo; lo anterior se relaciona con lo propuesto por Dori & Barak (2001, p.189) respecto a la necesidad de incorporar en el aula el uso de modelos físicos en la enseñanza de la química como “un medio para fomentar significativamente el aprendizaje y entendimiento de las estructuras espaciales de las moléculas orgánicas” o el llamado nivel microscópico de la química.

Fortaleciendo el análisis previo, cuando se le pregunta al estudiante si cree que posee las habilidades necesarias para realizar estos giros mentales justifica que:

*“Sí, Porque me es fácil imaginarlos, aunque opino que la ayuda física es importante e indispensable”.*

De nuevo el estudiante manifiesta la importancia de los modelos físicos durante la solución de este tipo de tareas, Gilbert (2007, p.11) argumenta que “los modelos se convierten en un elemento vital para la visualización”. En concordancia con lo anterior durante la entrevista se le pregunta al estudiante si considera necesario el uso de modelos físicos durante las clases de estereoquímica justifica que:

*“Sí, porque nos podemos basar en ellos para hacer los movimientos, es difícil el hacerlos solo en el cuaderno o dibujarlos, mientras que si los tenemos en físicos. Pues más real”.*

Son reiterativas las declaraciones del E.4 respecto a la importancia de usar de los modelos físicos durante la solución de ejercicios en estereoquímica; manifiesta además la dificultad de representar o dibujar los cambios que presenta los átomos o grupos de una molécula después de realizada la transformación dinámica. Esta declaración apoya las declaraciones de los estudiantes, respecto a la importancia de usar los modelos concretos durante las clases de estereoquímica (Ver Red Semántica 11). Autores como Wu & Shah (2004) y Briggs & Bodner (2005) consideran que el proceso de visualización mental se relaciona con la construcción de un modelo mental de la molécula modelo y su posterior transformación.

Wu & Shah (2004, p.473) proponen que para formar una representación interna, se requiere de una representación externa (Modelo concreto o 3D) para convertirse en una representación interna, donde la transformación requiere de habilidades viso-espaciales; un componente crítico en la resolución de problemas en química. Se concluye entonces de lo anterior que no basta con proporcionarle a los estudiante estos modelos durante las clases de química, se requiere además de un trabajo cooperativo con el docente, quien guía y orienta al estudiante en la realización de estos giros por medio de los modelos y en ausencia de los mismos; con el fin de que pueda recrear y formar imágenes mentales tridimensionales de una molécula.

### *Conclusión preliminar*

Las declaraciones del estudiante nos permiten determinar que la habilidad para resolver ejercicios que requieren rotar un molécula a un ángulo determinado (Giro  $180^\circ$  eje *Y*) se relaciona con el tipo de representación que se emplea y con la información que se brinda, lo cual es consistente con lo planteado por Briggs & Bodner (2005) cuando establecen que el uso de un referente definido integra del proceso de visualización molecular. Así mismo las auto-evaluaciones realizadas por el estudiante mientras resuelve ejercicios de rotación (Rotación mental de una molécula 3D) revelan que el mayor inconveniente es la ausencia de un modelo físico, argumentando que la visualización de las moléculas puede fallar, sino se tiene un estímulo visual previo.

### *Conclusión*

#### *Pensamiento viso-espacial*

#### Sub-categoría Traducción y transformación de diferentes representaciones moleculares E.4

- La habilidad del E.4 para interpretar diferentes representaciones moleculares, se deriva de su conocimiento espacial el cual han sido desarrollado a través del uso extendido y común de cierto tipo de representaciones (dimensional, desarrolla, semi-desarrollada) estas representaciones como lo plantea Bodner & Domin (2001) son más familiares para

el estudiante. Causa particular interés que en sus declaraciones el E.4 manifiesta no tener problemas al transformar una representación Dimensional y Fischer, sin embargo el estudiante no es consciente de que su transformación no fue exitosa. Kozman & Russell (2005, p.123) señalan que “siempre ha existido una estrecha relación entre la comprensión de los fenómenos químicos y las representaciones externas que utilizan para representarlos” de allí la importancia de promover la competencia representacional en los estudiante, al incorporar durante las clases diversas representaciones moleculares que ayuden al estudiante a comprender la información conceptual y visual que codifican.

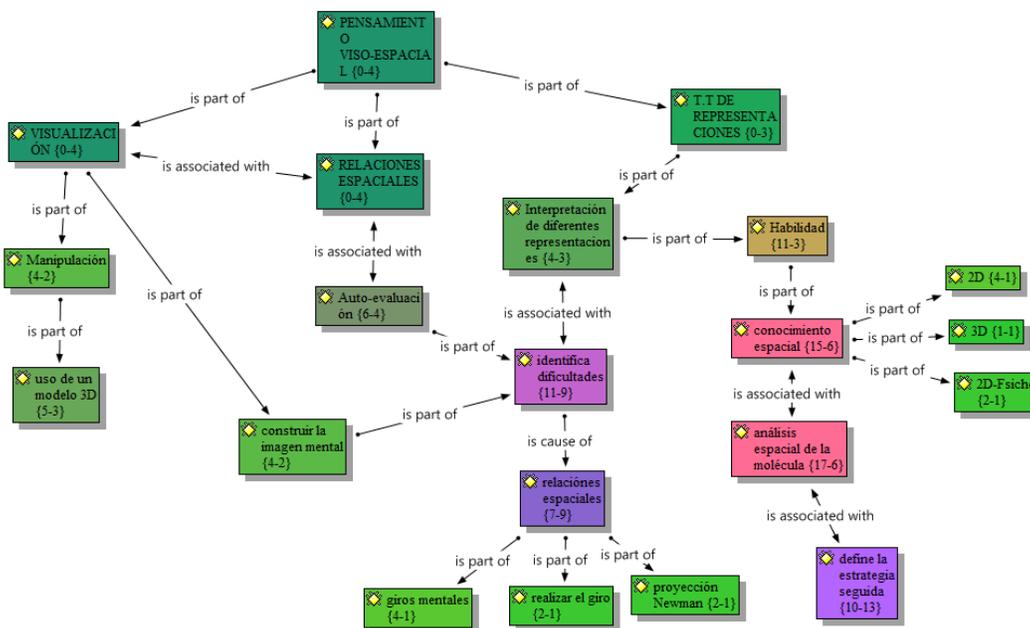
- Es importante resaltar que las restringidas manifestaciones del estudiante no permiten develar por que la transformación de este tipo de representaciones (Newman y Fischer) generan inconvenientes.

#### Sub-categoría Relaciones espaciales y Visualización E.4

- El análisis llevado a cabo permite establecer una relación entre el proceso de rotación mental, la visualización y la construcción de un modelo mental (Wu & Shah, 2004; Biggs & Bodner, 2005), el E.4 considera que la habilidad para realizar cierto giro de moléculas depende o se deriva del uso de un diagrama o referentes, tal información guía al estudiante durante la tarea de rotación.
- Desde las auto-evaluaciones se evidencia la necesidad del estudiante de trabajar con los modelos físicos de moléculas; como una herramienta que le permitirá visualizar, manipular y construir moléculas en 3D, potencializando la percepción espacial de las moléculas y sus relaciones espaciales. Son entonces diversos los autores (Barnea & Dori, 1996; Dori & Barak, 2000; Gilbert, 2007) que señalan la importancia de usar tanto los modelos físicos como los computacionales en los procesos de enseñanza y el aprendizaje de la química, específicamente de la estereoquímica.

El papel de las habilidades viso-espaciales y su relación con el aprendizaje y desempeño de los estudiantes durante la resolución de ejercicios en estereoquímica, se evidencia en la red

semántica 10, la cual resume las conexiones que se establecen entre los componentes del pensamiento viso-espacial, que desde nuestro interés investigativo se consideran claves para la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica. En virtud de lo anterior Gardner (2001, p.142) plantea que “los componentes o habilidades espaciales operan en conjunto y que el uso de cada operación bien puede reforzar el uso de los demás”.



Red Semántica 10. Habilidades viso- espaciales que intervienen en el aprendizaje y en el desempeño de ejercicios en estereoquímica E.4

## Conclusiones de los estudios de caso E.1 y E.4

### Resumen de los procesos metacognitivos llevados a cabo por el E.1 y E.4

Proceso metacognitivos E.1
<p>Se evidencia la toma de conciencia respecto a los objetivos de la tarea y de los procesos para resolverla; la toma de conciencia respecto a su desempeño en general es restringida, sin embargo en tareas específicas evalúa los resultados que obtiene. Respecto al conocimiento de sí mismo como aprendiz, pudo justificar aquello que sabía y lo que no sabía. Estas justificaciones proporcionaron información importante respecto a las dificultades que presenta cuando aprende un concepto científico o cuando resuelve un ejercicio en estereoquímica. Se resalta la opinión del estudiante respecto a la necesidad e importancia de que el docente conozca las fortalezas y dificultades que se generan durante el aprendizaje de un tema. Respecto al conocimiento procedimental aunque define pasos y estrategias estos parecen insuficientes, sólo se limita a resolver el ejercicio.</p> <p>En relación a la regulación o control que ejerce, los planes que elabora para resolver un ejercicio específico son elaborados y presentan una estructura lógica relacionada con los conceptos estudiados. Las auto-evaluaciones (monitoreo-online) que realiza le permitió identificar las dificultades presentadas durante la solución de los ejercicios, no hay indicios de modificaciones o rectificaciones en las estrategias empleadas. Finalmente las evaluaciones que realiza de las estrategias seguidas se relacionan con los planes que elabora, aunque en algunos ejercicios no es conciente de la efectividad de la estrategia.</p>

Proceso metacognitivos E.4
<p>Es clara la toma de conciencia del estudiante frente al objetivo de las tareas, sin embargo sus declaraciones no brindan información suficiente, que permita establecer el proceso que llevo a cabo para resolverla. Evalúa y reconoce los factores que incidieron en su desempeño.</p> <p>Las declaraciones respecto al conocimiento de sí mismo como aprendiz, brindan información sobre lo que sabe y no sabe y por qué, a diferencia del E.1 propone una serie de actividades (uso de modelos 3D) que le permitirán comprender mejor los conceptos que no sabe. También el E.4 manifiesta la importancia y la necesidad de que ambos (docente-estudiante) reconozcan las fortalezas y debilidades presentes durante el proceso de enseñanza y aprendizaje. En relación al conocimiento sobre cómo se hacen las cosas; si bien formula pasos estos parecen ser insuficientes no se conocen las razones para las cuales sigue una estrategia o secuencia en la solución de un ejercicio.</p> <p>Sus procesos reguladores incluyen la elaboración de planes, definidos como simples su estructura es débil, sólo en algunos casos se pudo identificar la estrategia que eligió. Las auto-evaluaciones que realiza (monitoreo) le permitieron identificar los obstáculos que se</p>

presentaron mientras resolvía un ejercicio específico, finalmente el estudiante evalúa los resultados obtenidos respecto a la eficacia de algunas de las estrategias que se identificaron en los planes; causa particular interés las modificaciones que propone a los planes específicamente cuando debe elegir cuál es la imagen especular de una molécula en 3D, el E.4 simplemente reduce los pasos a la aplicación de un espejo, lo que refleja los procesos algorítmicos que efectúa.

Al comparar ambos procesos metacognitivos, podemos establecer variaciones en dicho proceso. Concluimos que estas diferencias se fundamentan principalmente en la calidad de las respuestas y en las justificaciones dadas, a las preguntas que integraban los instrumentos diseñados para la unidad didáctica de estereoquímica; algunas respuestas contenían mayor información respecto al proceso que realizaba el estudiante, otras por el contrario eran vagas descripciones de los procesos. Las redes semánticas sobre metacognición, evidencia la relación que se establece entre el conocimiento que una persona tiene sobre sus propios procesos cognitivo y la regulación que puede llegar a ejercer (Flavell, 1987; Martí, 1995; Schraw & Moshman, 1995). La reflexión metacognitiva llevada a cabo por los estudiantes, permitió determinar las habilidades viso-espaciales que intervienen en el aprendizaje y en el desempeño de ejercicios relacionados con el tema de estereoquímica.

*Resumen Habilidades viso-espaciales que intervienen en el aprendizaje y desempeño de tareas en estereoquímica E.1 y E.4*

Habilidad para interpretar representaciones moleculares E.1-E.4
Respecto a la habilidad para interpretar cierto tipo de representaciones moleculares usadas durante las clases y ejercicios; tanto el E.1 como el E.4 manifestaron no tener dificultades cuando se trabajan cierto tipo de representaciones moleculares. Los porcentajes asignados para cada una de ellas revela de manera global que el 38% de los estudiantes manifiesta no tener problemas al interpretar la representación dimensional, seguida de un 35% la representación condensada y sólo el 12% manifiestan aptitudes para interpretar la representación fischer y sólo el 4% la Newman.
Del análisis de las declaraciones que apoyan estos porcentajes, concluimos que la facilidad de los estudiantes para interpretar las representaciones (dimensionales, desarrolladas y tridimensionales, etc.) se debe tal y como lo manifiesta Bodner & Domin (2000) a la familiaridad que tienen los estudiantes con ellas, como resultado de su en cursos anteriores de química. Así mismo, el conocimiento espacial y el análisis espacial

que han desarrollado los estudiantes, les permite interpretar con mayor facilidad la conectividad (Juaristi, 2005) orientación y ubicación espacial de estas representaciones.

#### Dificultad para transformar e interpretar representaciones moleculares

Respecto a la transformación de representaciones (Dimensional 2D-Fischer viceversa) las principales dificultades se generan en la de-codificación de la información espacial (Padalkar & Hegarty, 2012) y en el establecimiento de las nuevas relaciones espaciales (orientación y ubicación) de los átomos o grupos en la nueva representación. Asumimos que el uso restringido de estas representaciones (incluida la Newman) hace más difícil su estudio ya que sólo se trabajan en algunos temas.

En relación a lo anterior, sin el apoyo de los modelos concretos la transformación será aun más difícil, ya que los estudiantes no poseen un referente que les permita visualizar y construir una imagen mental de cómo cambia la ubicación y posición de los átomos o grupos en una u otra representación. Aunque el E.4 manifiesta no tener dificultades al pasar de una representación a otra (Dimensional-Fischer), éste no es consciente de que la transformación no fue exitosa. Es importante mencionar que de manera similar a lo ocurrido durante el estudio de los procesos metacognitivos de este estudiante, las restringidas declaraciones no permitieron develar con claridad por qué no podía realizar las transformaciones propuestas, simplemente argumenta que basta con la aplicación de los conceptos estudiados.

Ante esto Bucat & Mocerino (2009) argumentan que “sin un buen entendimiento de las representaciones moleculares los estudiantes no podrán visualizar las características espaciales de una molécula” (p, 11). De manera general el 53% de los estudiantes manifestaron tener dificultades al interpretar la representación Fischer más aun, cuando debían transformarla en una representación dimensional, el 27% manifestaron la dificultad de interpretar una representación dimensional a una Fischer.

#### *Resumen habilidades de visualización y Relaciones espaciales E.1 y E.4*

#### Habilidad o Dificultad para realizar giros mentales y giros de moléculas a un ángulo determinado E.1-E.4

Consideramos necesario destacar que el análisis realizado permitió establecer la relación entre el proceso de rotación mental de una molécula y la visualización asociados, a la construcción de un modelo mental (Wu & Pitri, 2004; Biggs & Bodner, 2005). El E.1 manifiesta que en algunas tareas, la facilidad para realizar la transformación dinámica (González, 2009) se deriva del uso de un diagrama o referente que orienta la rotación de la molécula.

Resaltamos que gracias a las auto-evaluaciones (Monitoreo Online) del E1y E.4 mientras

resolvían estas tareas pudimos identificar qué obstáculos inciden en desempeño de estas tareas. Para el caso del E.1 el establecimiento de las nuevas relaciones espaciales de una molécula transformada fue su mayor problema, además es conciente de que su habilidad para realizar giros mentales es débil.

La construcción de la imagen mental de la molécula antes y después de realizar el giro, lo hemos asociado con el proceso de transformación mental de la molécula; donde el estudiante también expresa tener dificultades, en concordancia con lo anterior el estudiante manifiesta de manera constante que si hubiese podido manipular la molécula por medio de los modelos físicos la rotación sería más sencilla.

El E.4 también manifiesta la necesidad de los modelos, considerando que la principal dificultad que tuvo al resolver estas tareas fue la ausencia de los modelos; con el fin de poder manipular las moléculas que debían ser rotadas. De nuevo la ausencia de sólidas declaraciones por parte del E.4 dificultó conocer en profundidad las causas de estas dificultades. Lo anterior apoya lo propuesto por Dori & Barak (2000, p.189) cuando recomiendan “incorporar una combinación de modelos físicos y virtuales en la enseñanza y el aprendizaje de la química como un medio para fomentar significativamente el aprendizaje y el entendimiento de las estructuras espaciales de las moléculas”.

Sintetizando lo anterior (Gardner, 2001 y por Tversky, 2005) coinciden en que este tipo de ejercicios que implican la transformación mental de moléculas cuando se realizan giros, son particularmente difíciles. Estas tareas requieren que el estudiante almacene y recupere gran cantidad de detalles visuales que sin la ayuda o apoyo de un referente o estímulo físico, serán más difícil. Así mismo sin la adecuada comprensión de las características espaciales de las estructuras orgánica, difícilmente logran comprender cómo cambian sus posiciones y ubicaciones en el espacio. La comprensión de las estructuras tridimensionales se fortalece a través del uso de modelos físicos de moléculas, los cuales permiten la manipulación y la percepción 3D de las moléculas.

### *Aprendizaje de la estereoquímica E.1*

- Para el caso particular del E.1 pudimos constatar que su desempeño durante tareas que implican dibujar y visualizar una molécula reflejada en el espejo es adecuado. Así mismo, cuando debe realizar la interconversión de la silla (isómeros del ciclohexano) la planeación que propone le permitió realizar adecuadamente la interconversión y ubicar correctamente las posiciones axiales y ecuatoriales (diferenciadas por medio de diferentes colores) de cada uno de los isómeros. De la misma manera, cuando debe identificar los

carbonos quirales o centros estereogénicos de una molécula y determinar si es Quiral o Aquiral el estudiante aplica los conocimientos estudiados; identifica por medio del análisis espacial la hibridación ( $Sp^3$ ) del átomo central y las características de sus sustituyentes.

- El conocimiento declarativo del estudiante, proporcionó información respecto a lo que sabía y qué no sabía mientras se estudiaban y resolvían ejercicios relacionados con el tema de estereoquímica; manifiesta conocimiento espacial respecto a las características que presentan diferentes isómeros (estructurales, geométricos, etc.), o cuando justifica porque puede interpretar con facilidad una representación molecular como la dimensional o la tridimensional.
- El monitoreo que realiza por medio de las auto-evaluación nos permitió concluir que las dificultades que presenta el estudiante en tareas implican transformaciones dinámicas (Giros mentales y giros a diferentes ángulos y configuración R-S) se relaciona con: la realización del giro (Gardner, 2001) ; con el proceso de visualización que debe llevarse a cabo mientras rota la molécula mentalmente y con en el establecimiento de las nuevas relaciones espaciales, entre la molécula modelo (referente) y la molécula transformada. Además estas dificultades también se presentan cuando el estudiante debe traducir y transformar una representación molecular específica (Fischer y Newman) debido al alto componente espacial que codifican estas representaciones y a la poca familiaridad con su estudio.

La figura 22, resume los procesos metacognitivos identificados en la E.1 y su relación con el desempeño y aprendizaje de la estereoquímica, lo cual a su vez, se relaciona con las habilidades viso-espaciales necesarias para desarrollar adecuadamente los ejercicios propuestos.

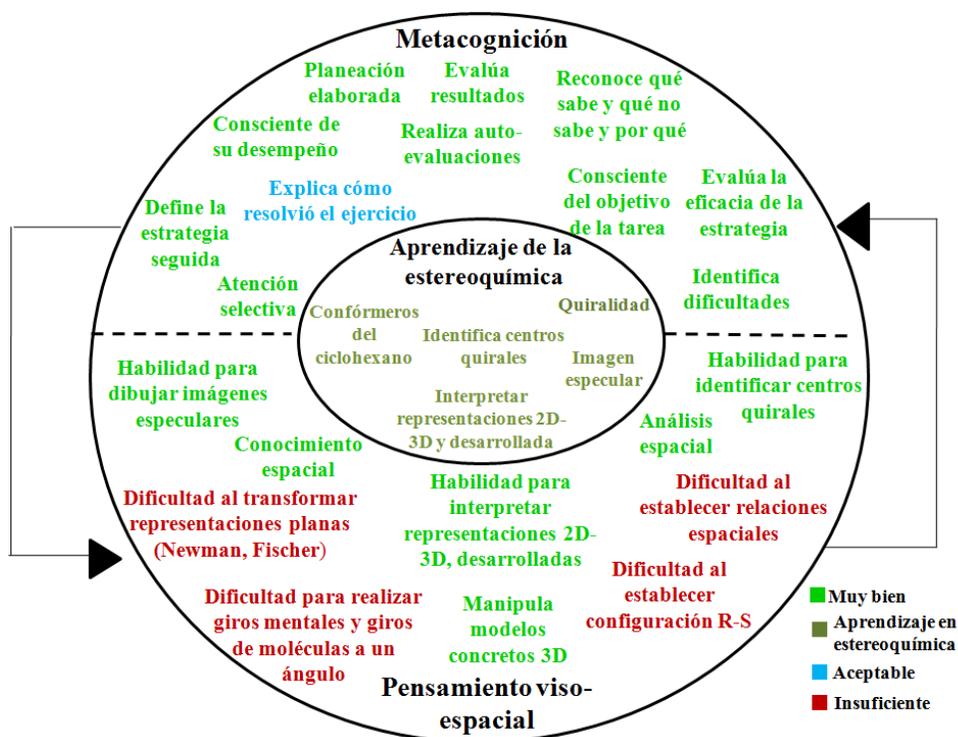


Figura 26 Relación entre la Metacognición el Pensamiento visoespacial y aprendizaje de la estereoquímica. E.1

#### *Aprendizaje de la estereoquímica E.4*

- En relación al aprendizaje de los conceptos básicos de la estereoquímica, durante la auto-evaluación las declaraciones del estudiante expresa los problemas generados durante la comprensión de ciertos conceptos (isómeros geométricos e isómeros conformacionales, enantiómero diastereoisómero), incidiendo a sus vez, en la solución exitosa del ejercicio; es claro también que el estudiante puede determinar si una molécula es quiral o aquiral aplicando de manera adecuada los conceptos estudiados.
- Durante el análisis de los planes que elabora, no se manifiestan dificultades por parte del estudiante, para establecer o realiza la imagen especular de una molécula o cuando debe identificar un enantiómero determinado, tiene claro que al aplicar un plano de espejo la correspondencia espacial permite diferenciar un compuesto del otro al analizar las posiciones espaciales de los átomos o grupos.

- Las auto-evaluaciones realiza permitieron establecer las dificultades del E.4 para interpretar ciertas representaciones moleculares, caracterizadas por su alto contenido espacial (Fischer), el estudiante hace reiterado énfasis en la necesidad de los modelos físicos de moléculas.

La figura 23, resume los procesos metacognitivos identificados en la E.4 y su relación con el aprendizaje de la estereoquímica, lo cual a su vez, se relaciona con las habilidades visoespaciales necesarias para desarrollar adecuadamente los ejercicios propuestos.

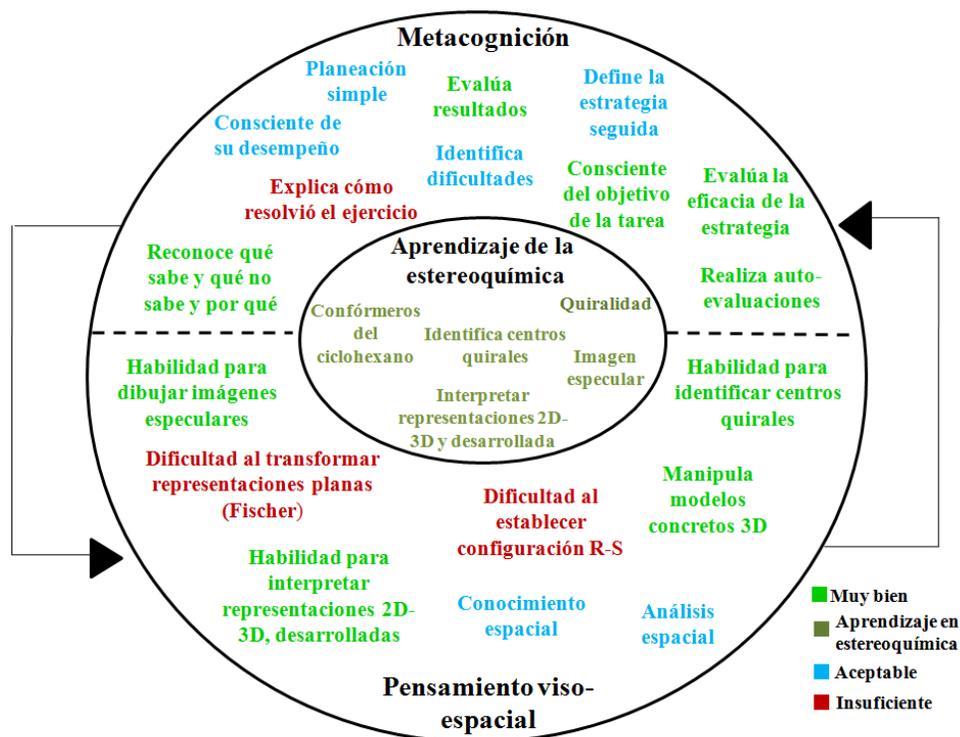


Figura 27 Relación entre la Metacognición el Pensamiento visoespacial y aprendizaje de la estereoquímica. E.4

### Conclusiones de la Investigación

La investigación realizada nos permitió construir y llegar a las siguientes conclusiones, en relación al modelo de instrucción metacognitivo y viso-espacial diseñado y adoptado para la intervención didáctica; se establece una relación entre estas dos categorías con el aprendizaje y desempeño de los estudiantes en tareas relacionadas con el tema de estereoquímica.

- Como resultado de la aplicación del modelo de instrucción metacognitivo para la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica, inferimos que el modelo diseñado bajo un enfoque constructivista (Martí, 1995; Tamayo, 2006) permitió generar espacios que favorecieron la toma de conciencia de los estudiantes, el conocimiento de sí mismos como aprendices y la regulación de sus propios procesos de aprendizaje; a través de una serie de preguntas metacognitivas que permitían la auto-evaluación de los procesos llevados a cabo durante la resolución de los ejercicios propuesto. Así mismo, estos ejercicios definidos (Lin, Schwartz & Hanato, 2005) y cuyas soluciones eran optimas y conocidas (Schunk, 2000) contribuyeron a que los estudiantes pudieran enfocarse más en conocer y regular sus procesos de aprendizaje. Finalmente el enfoque implícito (Campanario, 2000) seleccionado teniendo en cuenta los reducidos tiempos escolares con los que contábamos, facilitó la reflexión metacognitiva de los estudiantes mientras aprendían conceptos científicos. (Gunstone, 1994; White, 1999).
- Así mismo, el enfoque de pensamiento viso-espacial elegido para la enseñanza y el aprendizaje de la estereoquímica, el cual se caracterizó por el uso intensivo de modelos concretos o físicos de moléculas (Organic Chemistry Molecular Model Kit), con el propósito de que los estudiantes manipularan, construyeran y visualizaran las moléculas estudiadas durante la clase. Consideramos que el uso de estos modelos contribuyó a la comprensión tridimensional de las moléculas orgánicas; la manipulación y uso de estos modelos potencializa las habilidades de los estudiantes para visualizar procesos mentales, como la rotación de moléculas o la transformación e interpretación de representaciones

moleculares con un alto contenido viso-espacial (Barnea & Dori, 1996; Dori & Barak, 2000; Wu & Shah, 2004; Gilbert, 2007; Harle & Towns, 2011).

- Sumado a esto, el uso de diferentes representaciones moleculares (planas, 2D y 3D) durante las clases e instrumentos de lápiz y papel, tuvo como objetivo mejorar la competencia representacional de los estudiantes (Kozma & Russell, 2005). Emplear diversas representaciones visuales puede ayudar a la comprensión de los conceptos estudiados (Wu & Shah, 2004). Ante esto Wu, Krajcik & Soloway (2000) concluyen que la construcción de conexiones visuales entre diferentes representaciones es tan importante como las conexiones conceptuales necesarias para el aprendizaje de la química.
- Los diferentes instrumentos de lápiz y papel diseñados teniendo en cuenta los 4 temas centrales estudiados dentro del tema de estereoquímica, contenían una serie de preguntas cortas (Campanario, 2000) para contestar por escrito de manera individual. Estas preguntas Metacognitivas en el tema de Estereoquímica (PMEQ) nos permitieron conocer los procesos metacognitivos que llevan a cabo los estudiantes mientras resuelven problemas en estereoquímica, donde paralelamente se pudo identificar aquellas habilidades viso-espaciales que intervienen en el aprendizaje de la estereoquímica.
- Es importante destacar, que durante la entrevista realizada de manera individual, los estudiante ante la pregunta ¿Te gusto la metodología usada durante las clases de estereoquímica? Si\_\_ No\_\_ ¿Por qué? Expresaron que disfrutaron de esta nueva metodología de trabajo, señalan particularmente la importancia de haber usado los modelo 3D durante las clases, argumentan que les ayudo a comprender cómo lucen tridimensionalmente las moléculas, algunos de ellos manifestaron que era la primera vez que se trabajaba de manera intensiva con los modelos.

### Recomendaciones

- ✓ Incorporar la reflexión metacognitiva dentro de los planes curriculares de química; si desde los planes de estudio no se concibe la metacognición difícilmente se podrá conocer en profundidad cómo aprenden los estudiantes la ciencia que enseñamos.
- ✓ Acoger un enfoque metacognitivo para la enseñanza, bien sea explícito o implícito reconociendo en primera instancia, las características particulares del contexto de aula (tiempos académicos, motivaciones de los estudiantes, tópico de interés, etcétera.); a través de estos enfoques se generan espacios o ambientes que permiten la auto-regulación de los procesos de aprendizaje por parte de los estudiantes (la toma de conciencia y el conocimiento de sí mismo como aprendices), la enseñanza de estrategias metacognitivas permite la regulación de los procesos cognitivos durante el aprendizaje de un tema específico.
- ✓ Ampliar el conocimiento respecto al papel que cumple la metacognición cuando se enseña y se aprende ciencia, específicamente en el campo de la química donde la literatura científica es aun reducida; así mismo se considera necesario desarrollar y validar instrumentos confiables que permiten evaluar la metacognición en los estudiantes, especialmente en el diseño de instrumentos de lápiz y papel.
- ✓ Integrar durante la enseñanza de la química, y especialmente de la estereoquímica, la combinación de modelos y físicos y computacionales, reconociendo las limitaciones y ventajas que proporcionan cada uno de estos modelos; por lo tanto si no se emplean de manera conjunta, la visualización y comprensión de las entidades microscópica de la química pueden ser errónea.

- ✓ Promover el análisis y el trabajo con gráficos, animaciones y videos, con el objetivo de potencializar las habilidades viso-espaciales de los estudiantes; así mismo estas herramientas permiten visualizar la naturaleza dinámica de los fenómenos químicos, comprendidos erróneamente como procesos estáticos.

## REFERENCIAS

- Angulo, F, & García, P. (1997). Aprender a enseñar ciencias: una propuesta basada en la autorregulación. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*. 1(0), pp. 1-7.
- Asimov, I. (2010). Breve historia de la química. Tercera edición. España. Alianza editorial el libro de bolsillo.
- Bodner, G., & Pribyl, J. (1987). SPATIAL ABILITY AND ITS ROLE IN ORGANIC CHEMISTRY: A STUDY OF FOUR ORGANIC COURSES. *Journal Of Research In Science Teaching*, 24, (3), pp. 229-240.
- Brown, D.A, & Sullivan, A, P. (1987) Enhancing Instructional Time Through Attention to Metacognition. *Journal of Learning Disabilities*, 20 (2), pp.66-75.
- Barnea, N., & and Dori, Y. (1996). Computerized Molecular Modeling as a Tool To Improve Chemistry Teaching. , 36, (4), pp. 629-636.
- Briomes, G. (1996). Epistemología de las ciencias sociales. Restrepo, B. Investigación en Educación. Bogotá, Colombia. Instituto Colombiano para el fomento de la Educación Superior ICFES.
- Burón O. J. (1999). Enseñar a aprender: Introducción a la metacognición. España: ediciones mensajero.
- Bodner, G., & Domin, D. (2000). Mental Models: The Role of Representations in Problem Solving in Chemistry. *University Chemistry Education*, 4 (1), 22-28.
- Briggs, M., & Bonder, G. (2005). A model of molecular Visualization. In Jhon K. Gilbert (Ed). *Visualization in Science Education*, pp. 90-105. Printed in the Netherlands. Editorial Springer.
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: structural representation. *Multiple Representation en Chemical Education. Modelos and Modeling in Science Education 4*. In Gilbert D. Treagust (Ed.), pp: 11-25. Printed in United Kingdom and Australia. Editorial Springer.
- Bednarz, R., & Lee, J. (2011). The components of spatial thinking: empirical evidence. *International Conference: Spatial Thinking and Geographic Information*, 21, pp. 103-107

- Campanario, J., Cuerva M., Moya L., & Otero, J. (1998). La metacognición y el aprendizaje de las ciencias. *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias.*, 1, ISBN 84-95095-03-3, pp.36-44.
- Campanario, J, & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las ciencias*, 17 (2) pp. 179-192.
- Campanario, J.M (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: Estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3), pp. 369-380.
- Cadavid, V., Estrada, A., Morales, F., Tamayo (2008). Relación entre la Inteligencia espacial y los Procesos Metacognitivos que realizan los estudiantes en la Resolución de problemas en Estereoquímica. (Proyecto de Investigación). Universidad de Caldas.
- Fessenden, R., J (1983). Química orgánica. Grupo editorial Iberoamérica.
- Flavell, J.H. (1979). Metacognition and cognitive Monitoring: A new area of cognitive Development inquiry". *American Psychologist*, 34 (10), pp. 906-911.
- Flavell, J.H (1987). Speculation About Nature and Development of Metacognition. En Weinert, F. E.; Kluwe, R. H. *Metacognition, Motivation and Understanding*. Hillsdale, New Jersey.
- Ferk, V. Vrtacnik, M, & Andrej, L. (2003). Student`s understanding of molecular structure representation. *International Journal of Science Education*, 25 (10), pp. 1227-1245.
- Flórez O. R. (2000). Metacognición y Evaluación. *Acción Pedagógica*. 9, (1 y 2), pp. 5-11.
- Floréz, G. & Velásquez, J. (2009). Concepciones de Enseñanza en Profesores de Ciencias de la Ciudad de Manizales desde el concepto Conocimiento Pedagógico del Contenido (Tesis de maestría). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Gunstone, R. (1994). The importance of specific science content in the enhancement of Metacognition. In: Fensham, P., Gunstone, R & White, R. (Eds.) *The content of science*. London: Falmer Press.
- Gunstone, R. F, & Mitchell, I.J. (1998). Metacognition and conceptual change. In: Mintzes, Wandersee and Novak (Eds.). *Teaching Science for Understanding*. Academic press: California.
- Gardner, H. (2001). *Estructura de la mente: teoría de las inteligencias múltiples*. Colombia: Fondo De Cultura Económica.

- Guerra, J. (2003). Metacognición: *Definición y enfoques teóricos que la explican*. *Revista Electrónica de Psicología Iztacala*, 6 (2), pp. 1-9. Recuperado de: <http://www.iztacala.unam.mx/carreras/psicologia/psiclin/vol6num2/Metacognicion.html>
- Gilbert, J.K. (2007). VISUALIZATION: A METACOGNITIVE SKILL IN SCIENCE AND SCIENCE EDUCATION. In John K. Gilbert (ed) *Visualization in Science Education*, pp. 9-27. Springer. Printed in the Netherlands.
- Gilbert, J.K & Treagust, D. (Ed.) (2009). Macro, Submicro and Symbolic Representation and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. *Multiple Representation en Chemical Education. Modeles and Modeling in Science Education 4*, pp. 1-7. Printed in United Kingdom and Australia. Editorial Springer.
- González, M. (2009). Evolución de la percepción espacial en la educación primaria-Elementos formas y relaciones geométricas en el entorno. *Tema 24. La geometría en la educación primaria*. Profesor de didáctica de las matemáticas. Universidad de Málaga. Recuperado de: <http://maestrosde.blogspot.com/2012/05/tema-24-geometria-en-educacion-primaria.html>
- Gilbert, J.K (2010). Modelling, Modeles, and Visualization. *Asian Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(1) pp. 4-12.
- Harle, M, & Towns, M. (2011) A Review of Spatial Ability Literature, Its Connection to Chemistry, and Implications for Instruction. *Journal of Chemical. Education*, 88 (3), pp. 351–360.
- Jiménez, M.P (2000). Modelos Didácticos. Perales, P, & Cañal de León, P. *DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES.TEORÍA Y PRÁCTICAS DE LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*. Alcoy-España. Editorial Marfil.
- Juaristi. E. (2005). Izquierda y derecha en química: la quiralidad. Recuperado de: [http://biblioteca.cinvestav.mx/indicadores/texto\\_completo/cinvestav/2005/126056\\_1.pdf](http://biblioteca.cinvestav.mx/indicadores/texto_completo/cinvestav/2005/126056_1.pdf).
- Kuhn, D. (2000). Metacognitive Development. *American Psychologist*, 9 (5), pp. 178-181.
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). STUDENTS BECOMING CHEMISTS: DEVELOPING REPRESENTATIONAL COMPETENCE. In John K. Gilbert (ed.), *Visualization in Science Education*, 121 146. Springer. Printed in the Netherlands.
- Lohman, D. F. (1996). Spatial ability and G. In I. Dennis & P. Tapsfield (Eds.). *Human abilities: Their nature and assessment* (pp. 97-116). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Livingston, J, A. (1997). Metacognition: An Overview. pp. 1-6 Recuperado de: <http://gse.buffalo.edu/fas/shuell/cep564/metacog.htm>.

- Lin, X. (2000). Designing Metacognitive Activities. *Educational Technology Research and Development*, 49 (2), pp. 23–40.
- Lin, X., Schwartz L, & Hatano G. (2005). Toward Teachers' Adaptive Metacognition. *Educational Psychologist*, Copyright © 2005, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 40(4), pp. 245–255.
- Monereo, C. (1995) ENSEÑAR A CONCIENCIA ¿Hacia una didáctica metacognitiva? *Aula de innovación educativa*, 34, pp. 74-80.
- Martí, E. (1995). Metacognición: Entre la fascinación y el desencanto. *Infancia y Aprendizaje*, 72, 9-32.
- Mathewson, J.H (1998). Visual-Spatial Thinking: An aspect overlooked by educators. *Science Education*, 83, pp.33-55
- Monereo, C. (2003). Estrategias para autorregular el esfuerzo en el aprendizaje. Contraste el 'culturismo del esfuerzo'. *Aula de Innovación Educativa*, 120, pp. 44-47.
- Osses, S., Sánchez, I, & Ibáñez, F.M. (2006). INVESTIGACION CUALITATIVA EN EDUCACION. HACIA LA GENERACION DE TEORIA A TRAVES DEL PROCESO ANALITICO. *Estudios Pedagógicos*. XXXII (1), pp. 119-133.
- Parrill, A., & Gervay, J. (1996). The Stereochem Game: Making Chemistry More Fun. *The chemical Educator*, Springer- Verlag New York, INC. I SSN 1 4 3 0 - 4 1 7 1. 1, (5), pp. 1-7.
- Parolo, M. Barbieri, L, & Chrobak, R. (2004). La metacognición y el mejoramiento de la enseñanza de la química universitaria. *Enseñanza De Las Ciencias*, 22 (1), pp. 79–92.
- Pittalis, M., Mousoulides, N., & Christou, C. (2005). Spatial Ability As A Predictor Of Students' Performance In Geometry. *Congress of European Research in Mathematics Education*, pp. 1072-1081. Recuperado de: <http://ermeweb.free.fr/CERME5b/WG7.pdf>
- Pulmones, R. (2007). Learning Chemistry in a Metacognitive Environment. *The Asia Pacific-Education Researcher*, 16, (2), pp. 166-183.
- Padalkar, S., & Hegarty, M. (2012). Improving Representational Competence in Chemistry with Model-Base Feedback. *Proceeding of Cogsci 2012: 34Th Anual Conference of the cognitive Science*. pp. 2162-2167.

- Puebla, R, & Talma, M.P (2012). Metacognición en la formación inicial de los educadores. *Revista Iberoamericana de Educación*. ISSN: 1681-5653. 59 (2), pp.2-6.
- Rickey, D, & Stacy, M. A. (2000). The role of metacognition in learning chemistry. *Journal of Chemical Education*, 77, (7), pp.915-919.
- Rompayom, P., Tambunchong, C., Wongyounoi, S, & Precharn Dechsri, P. (2010). The Development of Metacognitive Inventory to Measure Students' Metacognitive Knowledge Related to Chemical Bonding Conceptions. Paper presented at *International Association for Educational Assessment (IAEA 2010)*
- Rahman, F., Jumani, N., Chaudry, M., Chisti, S, & Abbasi, F. (2010). Impact Of Metacognitive Awareness On Performance Of Students In Chemistry. *Contemporary Issues In Education Research*, 3, (10), pp.39-44.
- Schraw, G, & Moshman, D (1995). Metacognitive Theories. *Educational Psychology Review*, 7(4), pp.351-371.
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26, 113-125.
- Sorby, S.A. (1999). Developing 3-D Spatial Visualization Skills. Spring (ed), 62, (2), pp. 21-32. Recuperado de: <http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/viewFile/126/122>
- Soto, C.A (2001). Metacognición, cambio conceptual y enseñanza de las ciencias. Bogotá: *Editorial Magisterio*.
- Schunk, D.H (2001). *Self-Regulation through Goal Setting*. ERIC/CASS Digest ED462671. pp. 1-6. Recuperado de: <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED462671.pdf>.
- Sigmund, T. & Howard, E. (2009). The importance of knowing What You Know. Hacker, D., Dunlosky, J., Graesser, A. *Hand Book of Metacognition in Education*. Taylor & Francis.
- Subramaniam, R.S. (2009). Metacognition in Teaching. *14th International Conference on Thinking* (Malaysia), pp., 740-747. Recuperado de: <http://www.furnware.co.nz/sites/default/files/51%20Selva%20Ranee.pdf>.
- Sandi, S, & Cooper, M. (2010). Evaluación y desarrollo de la metacognición en la enseñanza de la química. *Ciencia y Tecnología*, 26, (1 y 2), pp. 47-57.
- Solaz-Portolés, J., Sanjosé, V, & Gómez, C. (2011). La investigación sobre la influencia de las estrategias metacognitivas y la motivación en la resolución de problemas: Implicaciones para la enseñanza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5, (4), pp. 789-795.

- Simons, H. (2011). El estudio de caso: Teoría y práctica. Madrid: Ediciones Morata.
- Taylor, S.J. & Bogdan R. (1986). Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados. Buenos Aires, Paidós, pp. 1-33.
- Tversky, B. (2004). Visuospatial Reasoning. *The cambridge handbook of thinking and reasoning*. Chapter 10, pp.209-239
- Tamayo, A. O. (2006). Los bordes de la pedagogía: del modelo a la ruptura. *La metacognición y los modelos para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias*. Universidad Pedagógica Nacional. Primera edición. Pp. 275 -306.
- Thagard, P. (2008). La Mente. Introducción a las ciencias cognitivas. Buenos Aires. Editorial Katz.
- Tamayo, O.E. (2007). La reflexión metacognitiva en el aprendizaje de conceptos científicos. *Novedades educativas*, 192 (193), pp106-112.
- Tamayo, O.E. (2009). Didáctica de las ciencias: La evolución conceptual en la enseñanza y en el aprendizaje de las ciencias. Manizales: Editorial Universidad de Caldas.
- White, R. (1999). Condiciones para un aprendizaje de calidad en la enseñanza de las ciencias. Reflexiones a partir del proyecto PEEL. Ponencia presentada en el V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, *Enseñanza De Las Ciencias* 17 (1), pp. 3-15
- Wu, H.K., & Shah .P. (2004). Exploring Visuospatial Thinking in Chemistry Learning. *Science Education*, 88 (3) pp.465-492.
- Wu, H.K., Krajcik, J., & Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*. 38, (7), pp. 821-842.

## ANEXO 1

### Instrumentos de Lápiz y Papel

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES

FACULTAD DE EDUCACIÓN

MAESTRIA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES

Instrumento 1 y 9 (Pre-test-Post-test) Estereoquímica

Tesis de investigación: METACOGNICIÓN EN LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE EN DE CONCEPTOS EN ESTEREOQUÍMICA

A continuación se presentan una serie de ejercicios, por medio de los cuales pretendemos conocer, cuál es la función que cumple la metacognición en la enseñanza y en el aprendizaje de conceptos en estereoquímica. Por favor, responda de manera cuidadosa cada una de las siguientes preguntas. Muchas gracias por la colaboración prestada.

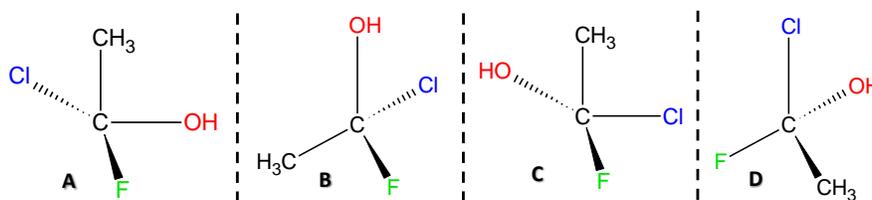
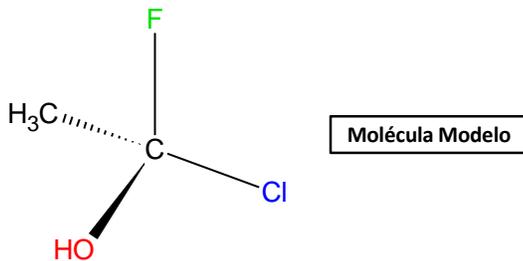
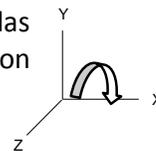
-Nombre: \_\_\_\_\_

-Fecha: \_\_\_\_\_

-Edad: \_\_\_\_\_

## Ejercicios

1. Si rotas la molécula modelo  $90^\circ$  en el eje x ¿Cuál de las siguientes moléculas representa el giro realizado? Marca con una X la respuesta correcta.



Describe el proceso que realizó para resolver el ejercicio.

---



---



---



---

Explique las principales dificultades que tuviste al resolver el ejercicio.

---



---

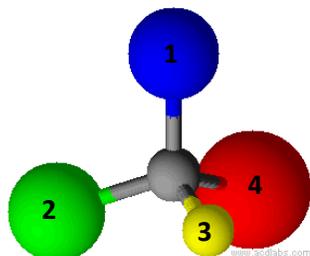
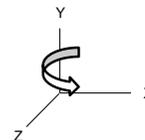


---

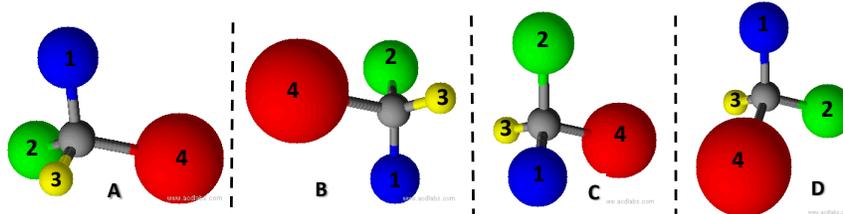


---

2. Si rotas la molécula modelo 180° en el eje Y ¿Cuál de las moléculas siguientes representa el giro pedido? Marca con una x, la respuesta correcta.



Molécula Modelo



¿Considera es clara la pregunta planteada para el ejercicio anterior?

Si\_\_ No\_\_ ¿Por qué?

---



---



---

¿Por qué crees que la respuesta que eligió fue la correcta? Justifica tu respuesta

---

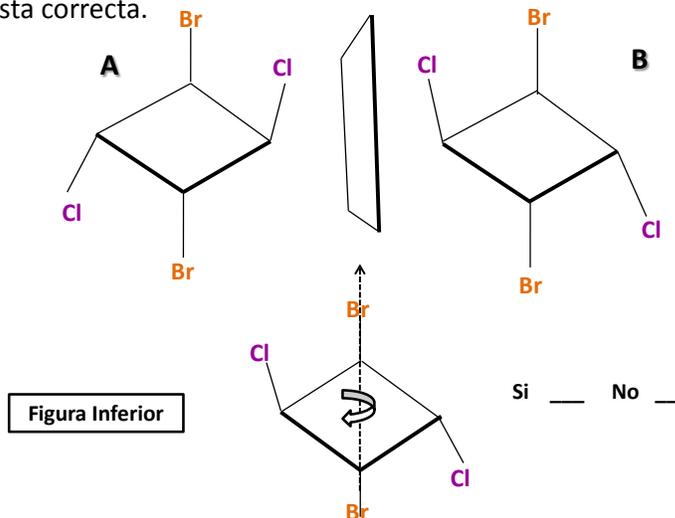


---



---

3. La molécula **B** representa la molécula **A** reflejada en el espejo, si al rotar la molécula **B** 180° alrededor del eje que pasa por el centro de la molécula (tal y como lo indica la figura inferior) ¿Crees que después de realizado el giro, son exactamente iguales la molécula **A** Y **B** ? Marca con una x la respuesta correcta.



¿Tuvo dificultades al girar la molécula según el ángulo pedido? Si\_\_\_ No\_\_\_

¿Por qué?

---



---



---



---

¿Piensa que es necesario elaborar algún tipo de planeación previa, antes de resolver el ejercicio?

Explique su respuesta.

---



---

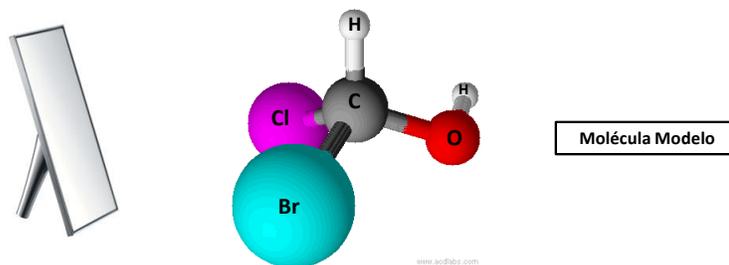


---



---

4. En este ejercicio debes dibujar la imagen de la molécula modelo reflejada en el espejo (Tal y como lo indica la figura). Para ello se te solicita elaborar un plan.



Describe el plan que elaboró.

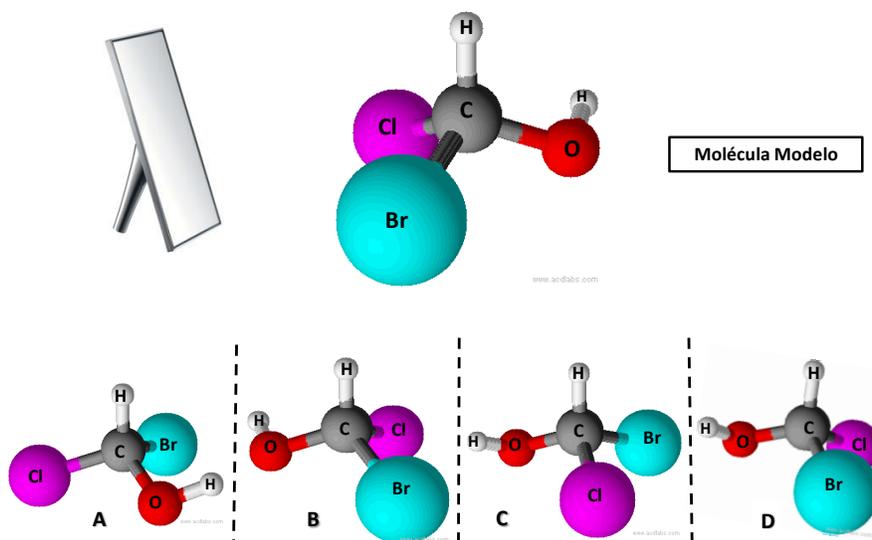
Paso #1: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Paso #2: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Paso #3: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Paso #4: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Ahora, sigue el plan que propusiste para resolver el ejercicio. Marca con una X la respuesta correcta.



¿Por qué piensa que estos pasos le permitieron resolver el ejercicio?

---

---

---

¿Qué pasos eliminaría?

---

---

---

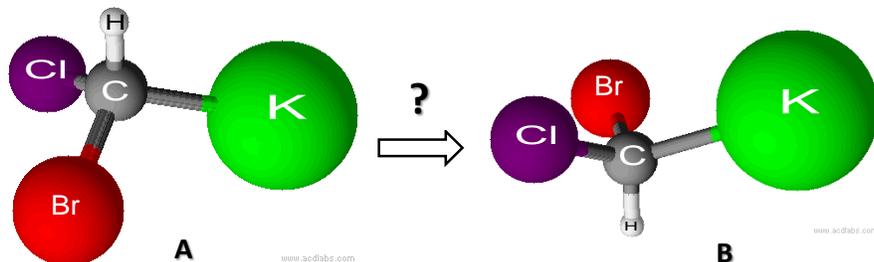
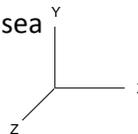
¿Qué pasos nuevos propondrías?

---

---

---

5. ¿Cuántos grados tuviste que rotar la molécula **A**, para que sea como la molécula **B**? Marca con una X la respuesta correcta.



- Entre 180° - 270° eje X   
  Entre 90° - 120° eje Y   
  Entre 90° - 180° eje Z   
  Entre 120° - 180° eje X

¿Cree que posee habilidades para realizar giros mentales de moléculas? Si\_\_ No\_\_ ¿Por qué?

---



---



---



---

¿Considera que se necesitan conocimientos en química para resolver algunos ejercicios? Si\_\_ No\_\_ ¿Por qué?

---



---

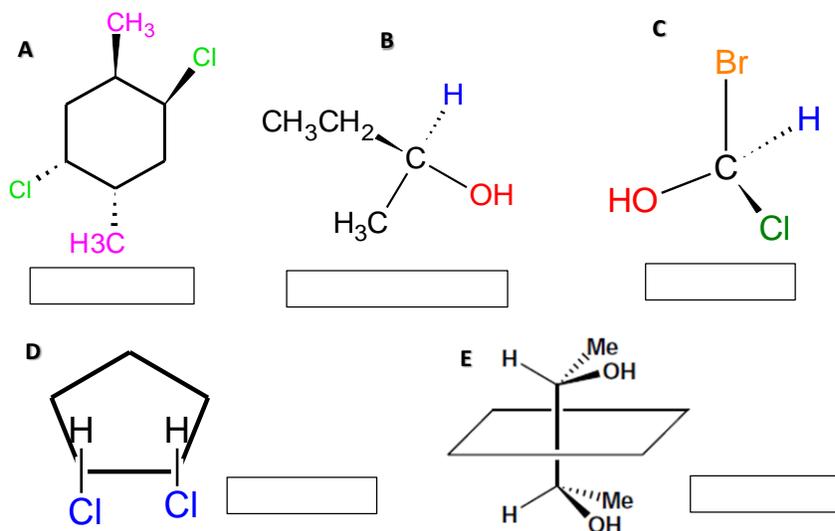


---



---

6. En este ejercicio debes identificar cuáles de las 5 moléculas, presentadas a continuación son quirales o aquirales. Escribe en la parte inferior de la molécula tu respuesta.



Explique ¿Qué criterios tuvo en cuenta para determinar el tipo de molécula?

La molécula A es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

La molécula B es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

La molécula C es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

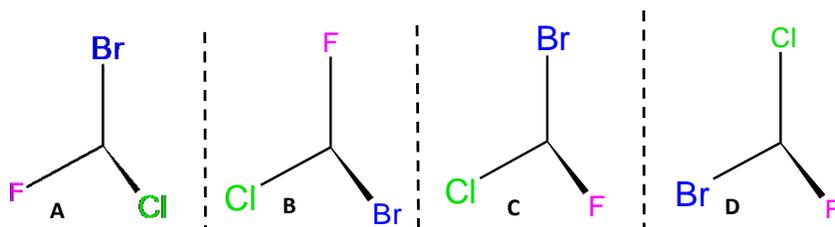
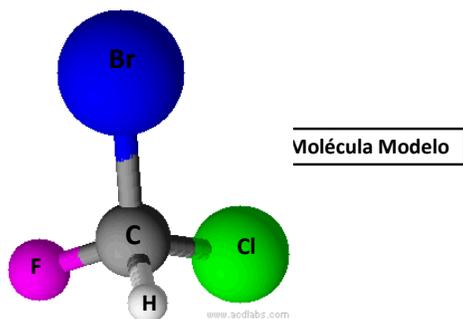
La molécula D es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

La molécula E es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

7. ¿Cómo crees que luciría la molécula si se rotara, de tal manera que el Hidrógeno quedará ubicado en la posición de atrás? Marca con una X la respuesta correcta.



¿Le resulta fácil realizar giros mentales de moléculas a diferentes ángulos? Si\_\_\_ No\_\_\_  
 ¿Por qué?

---



---



---

¿Cuál cree que fue el principal obstáculos que se presentó mientras resolvía la prueba?

Explique su respuesta

---

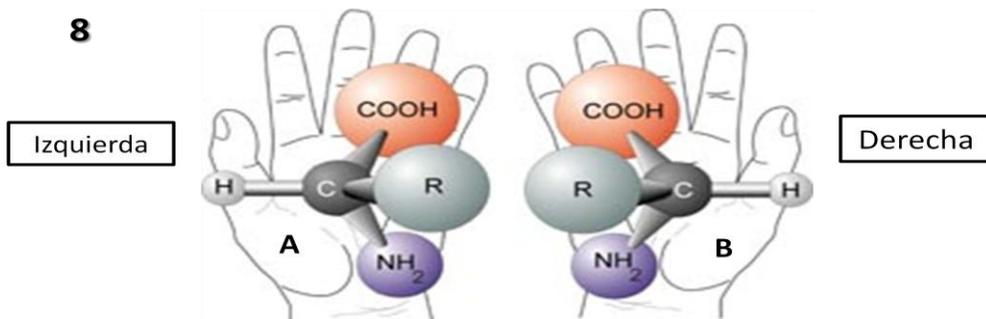


---



---

8



Explique ¿Qué cree que sucedería con las moléculas **A** y **B** si superponemos la mano derecha con la izquierda? Son iguales Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?

---

---

---

---

De 1 a 10 califica ¿Cuál fue tu desempeño mientras resolviste los ejercicios propuestos?

1\_\_\_ 2\_\_\_ 3\_\_\_ 4\_\_\_ 5\_\_\_ 6\_\_\_ 7\_\_\_ 8\_\_\_ 9\_\_\_ 10\_\_\_

Justifique su respuesta

---

---

---

---

¿Le agrada la asignatura de Química? Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?

---

---

---

---

## Instrumento 2. Autorregulación

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

Fecha: \_\_\_\_\_

Preguntas de Autoreflexión: ¿Qué he aprendido hasta ahora?

Asigne un (+) a aquellos conceptos que considera ha comprendido bien o (-) a aquellos conceptos que no son tan claros para usted. Justifique tu respuesta.

Conceptos estudiados	Calificación (+) (-)	¿Por qué?
Isómeros estructurales		_____ _____ _____
Isómeros Geométricos		_____ _____ _____
Isómeros conformacionales		_____ _____ _____
Conformaciones de los compuestos cíclicos		_____ _____ _____

¿Cuál considera que ha sido el principal obstáculo en la comprensión de los conceptos previamente estudiados? Explique tu respuesta.

---

---

---

---

¿Qué actividades propondría para poder comprender aquellos conceptos que no son tan claro para usted? Explique detalladamente su respuesta.

Primero:

---

---

---

Segundo:

---

---

---

Tercero:

---

---

---

Cuarto:

---

---

---

Señale con una **X** ¿Tuvo dificultades al interpretar cada una de las siguientes representaciones?

Representación	Si___	No___	¿Por qué?
Plana			<hr/> <hr/>
Dimensional			<hr/> <hr/> <hr/>
Newman			<hr/> <hr/> <hr/>

### Instrumento 3. Isómeros del ciclohexano

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

Fecha: \_\_\_\_\_

Actividad individual:

- Dibuje las dos conformaciones de silla para el *cis*-1,4 dimetil ciclohexano y para el *trans*-1,4 dimetil ciclohexano.
- Determine y justifique ¿cuál es el isómero más estable?

<u>Conformaciones de silla para el <i>cis</i>-1,4 dimetil ciclohexano.</u>	

¿Cuál es el isómero más estable? ¿Por qué?

---

---

---

---

<u>Conformaciones de silla para el <i>trans</i>-1,4 dimetil ciclohexano.</u>	

¿Cuál es el isómero más estable? ¿Por qué?

---



---



---



---

Preguntas de reflexión individual

¿Cree que puede resolver el ejercicio propuesto? Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?

---



---



---

Describa detalladamente, los pasos o secuencias que llevo a cabo para resolver el ejercicio. Justifique su respuesta.

PasoA: \_\_\_\_\_

---

PasoB: \_\_\_\_\_

---

PasoC: \_\_\_\_\_

---

Mencione ¿Cuál fue el principal obstáculo o dificultad que tuvo mientras resolvía el ejercicio?  
¿Por qué?

---

---

---

---

## Instrumento 4. Centro Quiral

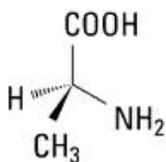
Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

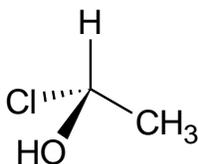
Actividad individual:

Para cada estructura:

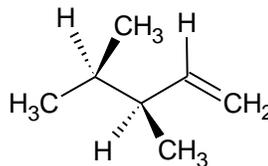
- Señale con un asterisco los átomos de carbono quiral o centro estereogénico.
- Realice la imagen especular de cada una de las moléculas.



Molécula A



Molécula B



Molécula C

Preguntas de reflexión individual

-Describe ¿Qué criterios tuvo en cuenta para resolver el punto A de la actividad individual?

La molécula A es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

---

---

La molécula B es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

---

---

La molécula C es: \_\_\_\_\_ ¿Por qué?

---

---

¿Por qué cree que las respuestas que dio son correctas?

Justifique su respuesta.

---

---

---

---

¿Fue fácil interpretar las representaciones moleculares de las moléculas anteriores? Si\_\_\_\_  
No\_\_\_\_ ¿Por qué?

---

---

---

---

Instrumento 5. Proyecciones fischer, Nomenclatura R-S

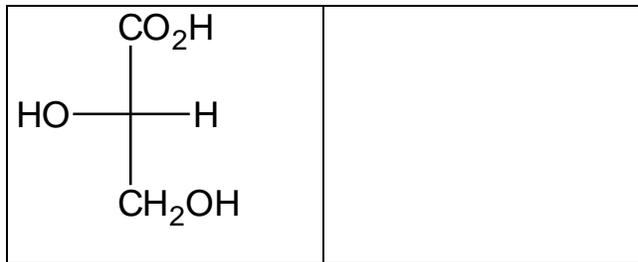
Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

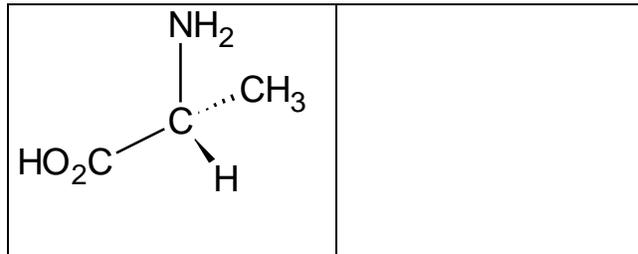
Actividad individual

Para cada estructura:

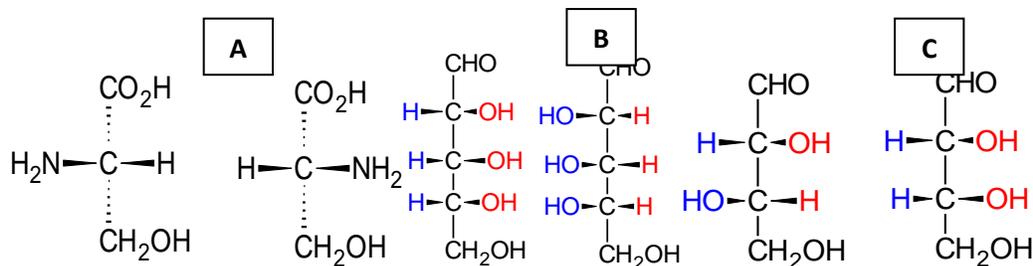
1. Convierta la siguiente representación Fischer a formula dimensional.



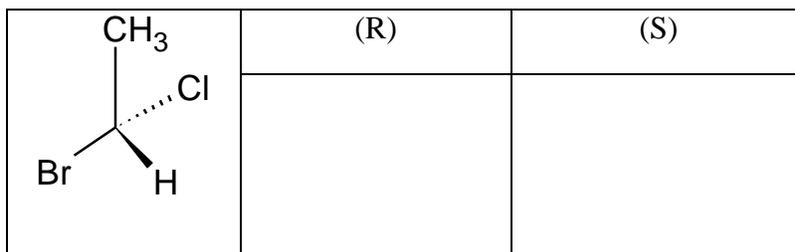
2. Convierta la siguiente formula dimensional de la alanina (Una aminoácido) a una proyección Fischer.



3. Identifique cada par de moléculas como enantiómeros o diastereoisómeros.



4. Nombre el siguiente compuesto, incluyendo la designación (R) (S)



Preguntas de reflexión individual

-Describe el plan que elaboró para resolver los ejercicios anteriores.

Paso#1: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Paso#2: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Paso#3: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Paso#4: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

En algún momento revisó ¿cómo estaba resolviendo los ejercicios propuestos?

Si\_\_\_ No\_\_ ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Señale el grado de seguridad en las respuestas de que dio a los ejercicios anteriores.

Excelente\_\_\_ Bueno\_\_\_ Regular\_\_\_ Malo\_\_\_ Deficiente\_\_\_ ¿Por qué?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Explique ¿Cuál considera que fue la representación más difícil de interpretar?

Representación dimensional	Representación Fischer
¿Por qué?	¿Por qué?
_____	_____
_____	_____
_____	_____

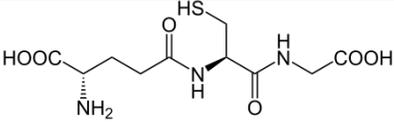
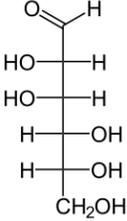
Instrumento 6. Enantiómeros – Diastereoisómeros  
Nomenclatura R-S

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

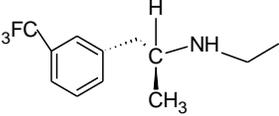
Fecha: \_\_\_\_\_

Actividad individual:

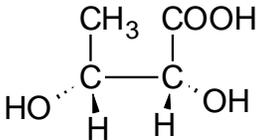
1. Localice los centros estereogénicos en las siguientes Biomoléculas.

	
Glutación (Antioxidante Natural)	Manosa

2. Localice el centro estereogénico de la Fenfluramina, el enantiómero (S) se usa como supresor el apetito, fue retirado del mercado en 1997 debido a los daños que causa en el corazón. ¿Dibuja el enantiómero S de la fenfluramina?

Configuración ( )	Configuración ( )
	

3. Dibuje los enantiómeros y los diastereoisómeros para el siguiente compuesto indicando la configuración de sus centros quirales.

	
---	--

Preguntas de reflexión individual

Describir ¿Cuál fue la ruta que siguió para poder desarrollar los ejercicios anteriores?

Punto#1

A: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

B: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

C: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Punto#2

A: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

B: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

C: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Punto#3

A: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

B: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

C: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Escriba ¿cuáles fueron las 3 principales dificultades (u obstáculos) que presentó, mientras resolvía los ejercicios propuestos?

Dificultad 1		¿Por qué? _____ _____ _____
Dificultad 2		¿Por qué? _____ _____

		_____
Dificultad 3		¿Por qué? _____ _____ _____

Explique ¿Por qué considera que resolvieron correctamente los ejercicios planteados en los puntos anteriores?

Punto	¿Por qué consideras que la respuesta es correcta?
1	_____ _____ _____
2	_____ _____ _____
3	_____ _____ _____

Señale con una **X** ¿Cuál de las siguientes representaciones moleculares consideras te fue más fácil interpretar durante el tema de estereoquímica? Explica tu respuesta

Representación	X	¿Por qué?
Condensada		<hr/> <hr/> <hr/>
Desarrollada		<hr/> <hr/> <hr/>
Dimensional		<hr/> <hr/> <hr/>
Newman		<hr/> <hr/>
Silla		<hr/> <hr/>
Fischer		<hr/> <hr/>

## Instrumento 7. Taller extra-clase de estereoquímica

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

Fecha: \_\_\_\_\_

1. Representar los siguientes compuestos en forma de silla y determinar ¿cuál es el isómero es más estable? y explicar ¿por qué lo es?

a. Trans-1,2-dimetilciclohexano      b. Trans-1,3-dimetilciclohexano

¿Considera que es necesario el uso de modelos físicos para resolver el ejercicio anterior? Si \_\_\_  
No \_\_\_ ¿Por qué?

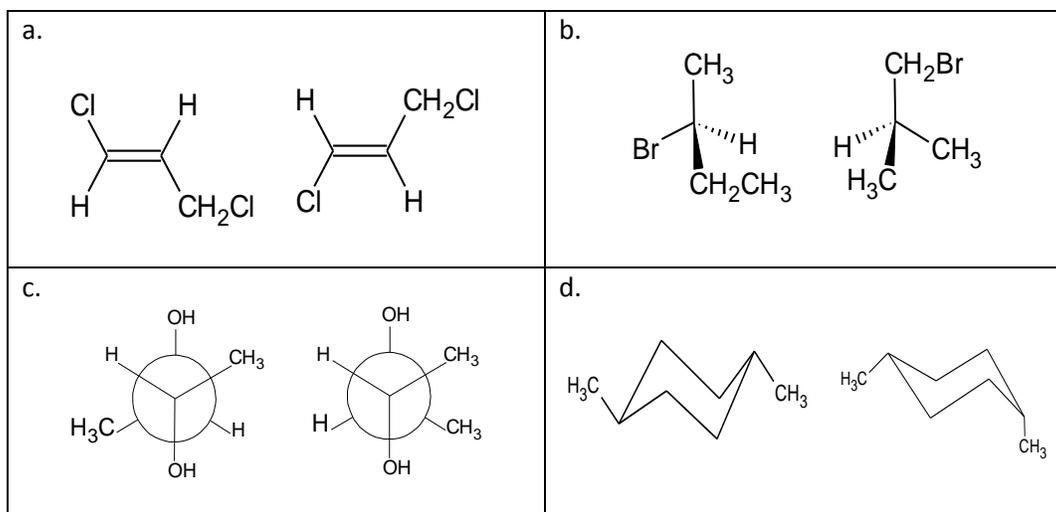
---

---

---

---

2. Identifique cada uno de los siguientes pares de estructuras como: isómeros ópticos, isómeros estructurales, isómeros geométricos o como el mismo compuesto.



3. Realice formulas dimensionales para los dos pares de enantiómeros de cada uno de los siguientes compuestos.

a. 1-bromo-1-feniletano.

b. 2-butanol.

-¿Considera que para resolver los ejercicios, es necesario tener una representación previa de la molécula? Si \_\_\_ No \_\_\_ ¿Por qué?

---



---



---



---

4. Convierta las siguientes representaciones Fisher en representaciones dimensionales.

<p>a.</p> $\begin{array}{c} \text{CO}_2\text{H} \\   \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	<p>b.</p> $\begin{array}{c} \text{CO}_2\text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	<p>c.</p> $\begin{array}{c} \text{CHO} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$

5. Convierta las siguientes representaciones dimensionales en representaciones Fisher y establecer su configuración.

<p>a.</p> $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\   \\ \text{H} \end{array}$	<p>b.</p> $\begin{array}{c} \text{HO} \quad \text{H} \quad \text{COOH} \\ \diagdown \quad   \quad / \\ \text{C} \\ / \quad \diagdown \quad   \\ \text{HOOC} \quad \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$	<p>c.</p> $\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{Br} \end{array}$
--	---	---

--	--	--

-¿Cuál fue el proceso que realizó para resolver el punto#5 y el punto#6?

Punto#5 ¿Por qué?

A: \_\_\_\_\_

B: \_\_\_\_\_

C: \_\_\_\_\_

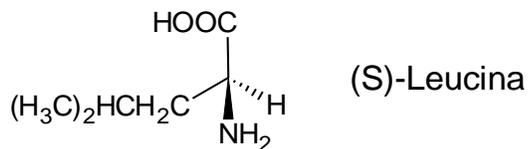
Punto#6 ¿Por qué?

A: \_\_\_\_\_

B: \_\_\_\_\_

C: \_\_\_\_\_

6. Indique cual de los siguientes compuestos es el enantiómero de la (S)-leucina.



<p>a.</p> $  \begin{array}{c}  \text{COOH} \\    \\  \text{H} \begin{array}{l} \nearrow \\ \searrow \text{NH}_2 \end{array} \\  (\text{H}_3\text{C})_2\text{HCH}_2\text{C}  \end{array}  $	<p>b.</p> $  \begin{array}{c}  \text{COOH} \\    \\  \text{H} \begin{array}{l} \nearrow \\ \searrow \text{NH}_2 \end{array} \\  \text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2  \end{array}  $	<p>c.</p> $  \begin{array}{c}  \text{NH}_2 \\    \\  (\text{H}_3\text{C})_2\text{HCH}_2\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{H} \\ \searrow \text{COOH} \end{array}  \end{array}  $

-¿Le resulta fácil imaginar las moléculas y luego dibujarla sin ayuda de los modelos tridimensionales? Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?

---



---



---



---

7. Realizar las interconversiones correspondientes a cada una de las siguientes representaciones de silla, indicando su geometría (*cis-trans*).


Señale con una **X** ¿Cuál de las siguientes representaciones moleculares consideras te fue más fácil interpretar durante el tema de stereoquímica? Explica tu respuesta.

Representación	(+)	(-)	¿Por qué?
Semidesarrollada			<hr/> <hr/>
Dimensional			<hr/> <hr/>
Newman			<hr/> <hr/>
Fischer			<hr/> <hr/>
3D			<hr/> <hr/>

--	--	--

## ANEXO 2

### Entrevista

1. ¿Consideras necesario el uso de modelos físicos de moléculas durante las clases de estereoquímica? Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?
2. ¿Cree que es importante que el docente conozca cuáles son las dificultades que presentan los estudiantes durante la enseñanza de la estereoquímica? Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?
3. ¿Te gusto la metodología usada durante las clases de estereoquímica? Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?
4. Piensa que es necesario que ustedes los estudiantes conozcan sus fortalezas y debilidades mientras se estudia el tema de estereoquímica. Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?
5. Está satisfecho(a) con el resultado obtenido en el parcial. Si\_\_\_ No\_\_\_ ¿Por qué?