

UNIVERSIDAD DE BURGOS
PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Departamento de Didácticas Específicas



**EL LENGUAJE QUÍMICO EN LA RESOLUCIÓN DE
PROBLEMAS SOBRE REACTIVIDAD EN QUÍMICA
ORGÁNICA. UN ESTUDIO DE CASOS**

TESIS DOCTORAL

Luis Fernando Moreno Ariza

Burgos, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE BURGOS
PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Departamento de Didácticas Específicas



UNIVERSIDAD DE BURGOS



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL**

Tesis Doctoral

**EL LENGUAJE QUÍMICO EN LA RESOLUCIÓN DE
PROBLEMAS SOBRE REACTIVIDAD EN QUÍMICA
ORGÁNICA. UN ESTUDIO DE CASOS**

Tesis Doctoral realizada por Don **Luis Fernando Moreno Ariza**, para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Burgos, bajo la dirección del **Dr. Jesús Ángel Meneses Villagrà** y la codirección de la **Dra. Concesa Caballero Sahelices**.

Burgos, febrero de 2020

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Burgos y la Universidad Federal do Rio Grande do Sul por su hospitalidad, amabilidad y la oportunidad de crecer.

A la profesora María Concesa Caballero y al Profesor Jesús Meneses por su acompañamiento y la gran oportunidad que me brindaron.

Al profesor Marco Antonio Moreira de quien he podido aprender grandes cosas. A la profesora María Victoria Alzate Cano por ser mi guía en el aprendizaje de la química, por aprender todos los días de ella, y permitirme conocer otra faceta del mundo.

A la Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales e Instituto de Química, y especialmente a las profesoras Mauren Zapata y Nora Restrepo por su apoyo a la realización de este proyecto.

A los estudiantes de los programas de Química por su participación y su propósito de querer aprender.

A mi Madre por enseñarme y darme todo lo mejor de su ser.

A mi Esposa Ruby Alejandra por su acompañamiento incondicional.

A todos mis hermanos.

A todos mis compañeros y profesores del doctorado

A todos los integrantes de los grupos MEQ y Q-FT donde he pasado gran parte de mi vida.

A todos mis hermanos y hermanas en la química, especialmente

Tatiana, Andrea, Lina, Natalia, Elizabeth, M^a Elena, Cinthia, Sara,

Cesar R., Cesar P., Andrei, Pedronel, Julián, Wilber, Fredy,

Andrés, Edison y Edwin

A mi Violeta, mi vida misma.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	18
ABSTRACT	20
Capítulo 1: JUSTIFICACIÓN, prOBLEMaS y objetivos de la investigación	24
1.1 Antecedentes	24
1.2 Justificación del problema.....	35
1.3 Problema.....	36
1.4 Preguntas de la investigación	38
1.5 Objetivos	38
1.5.1 Objetivo general	38
1.5.2 Objetivos específicos	39
1.6 Aspectos metodológicos.....	39
2.6 Contenidos de los capítulos.....	42
CAPÍTULO 2: Revisión Bibliográfica.....	46
2.1 Introducción	46
2.2 Enseñanza de la química	47
2.3 Artículos relacionados con la investigación.....	52
2.3.1 Resolución de problemas en Química.....	52
2.3.2 Investigaciones asociadas a la enseñanza de la Química Orgánica.....	62
2.4 A modo de síntesis de la revisión de la literatura.....	68
CAPÍTULO 3: Fundamentos TEÓRICOs	77
3.1 Introducción	77
3.2 Teoría del Aprendizaje Significativo	78
3.2.1 Características del Aprendizaje Significativo.....	78
3.2.2 Tipos de Aprendizaje Significativo.....	82
3.2.3 Principios del Aprendizaje Significativo.....	83
3.2.4 Aprendizaje Significativo respecto a la enseñanza.....	84

El conocimiento del alumno y su saber, junto con el material potencialmente significativo, los organizadores previos, la estructura jerárquica del contenido, la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora y la consolidación, son elementos constituyentes de la teoría del Aprendizaje Significativo que pueden ayudar para implementar una enseñanza en el aula orientada a favorecer el aprendizaje significativo. Para intentar buscar evidencias de aprendizaje significativo, la mejor manera es formular problemas innovadores y no familiares que requieran la transformación del conocimiento adquirido, como lo ilustra el mapa conceptual de la figura 3.2. Por eso, la metodología en resolución de problemas es la alternativa seleccionada en esta investigación. 87

3.3 Aprendizaje significativo crítico 87

3.4 Aportaciones de la teoría de la mediación social de Vygotsky en un acercamiento a la teoría del Aprendizaje Significativo..... 92

3.5 Estructura lógica de la química 98

3.6 Educación y lenguaje 103

3.7 Lenguaje químico 107

3.8 Resolución de problemas 113

CAPÍTULO 4: Fundamentos METODOLÓGICOS 123

3.1 Introducción 123

4.2 Metodología cualitativa..... 124

4.3 Estudio de casos 126

4.4 Planificación de la investigación..... 127

4.5 Contexto 129

 4.5.1 Contexto del centro escolar y su entorno 129

 3.6 Contexto curricular 130

 4.6 Contexto pedagógico 130

5.6 Estudiantes participantes en la investigación 131

4.7 Instrumentos de toma de registros..... 133

4.8 Criterios para el análisis de los registros 137

4.9 Rúbricas para la evaluación del desempeño de los estudiantes..... 138

 4.9.1 Dominio del uso del lenguaje químico 138

4.9.2	Evaluación de los mapas conceptuales.....	139
4.1	Dominio de comprensión conceptual	141
CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE.....		145
5.1	Introducción	145
5.2	Organización y diseño de la propuesta de intervención didáctica.....	145
5.2.1	Desarrollo de la propuesta de intervención didáctica	148
5.2.2	Propuesta de intervención didáctica.....	151
5.2.4	Otras actividades incluidas en la propuesta didáctica.....	155
5.2.5	Material didáctico adaptado para la comprensión de la reactividad química	162
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		167
6.1	Indagación preliminar al curso de Química Orgánica Uno	167
6.1.1	Prueba de indagación preliminar.....	169
6.1.4	Conclusión preliminar.....	178
6.2	Conformación del grupo de los casos de la investigación	178
6.2.1	Los seis casos y su descripción general en la indagación preliminar	179
6.3	El lenguaje químico en la indagación preliminar	180
6.4	Análisis del juego <i>Químimo</i> previo a la resolución de problemas de reactividad química	195
6.5	Diario <i>semiestructurado</i> : descripción de la preparación de la prueba parcial ‘principios de reactividad’ del curso de Orgánica Uno	199
6.6	Análisis de la actividad <i>Sudoku</i> de grupos funcionales previo a la resolución de problemas de reactividad química	204
6.7	Resolución de problemas, descripción del significado atribuido a las reacciones de adición nucleofílica de aldehidos y cetonas.....	207
6.8	Similitud y comparación de enunciados de problemas	273
6.9	Análisis de mapas conceptuales durante la resolución de problemas de reactividad química	287
6.10	Clasificación por niveles de progresión en el dominio de la comprensión conceptual.....	308
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES GENERALES.....		319
7.2	Preferencia y nivel de dificultad según los enunciados de problemas	331

7.3 Consideraciones conclusivas	333
7.4 Implicaciones para la enseñanza y aprendizaje de la Química	338
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	343
ANEXO A: Acta de compromiso a participar en el proyecto de investigación	357
ANEXO B: Tablas correspondientes a las bitácoras, preparación para la prueba final ‘principios de reactividad’, del curso de Química Orgánica Uno.....	359
ANEXO C: descripción detallada de los enunciados para los 20 problemas tratados en la intervención de aula.	361
ANEXO D: Respuestas de los estudiantes de los seis casos a los problemas...	371

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 3.1 Esquema general de la asimilación, en la teoría del Aprendizaje Significativo.....	78
Figura 3.2 Mapa conceptual relativo a la teoría del aprendizaje significativo	85
Figura 3.3 Propuesta de un mapa conceptual de la estructura lógica de la Química	99
Figura 4.1: Representación esquemática del proceso de la investigación	127
Figura 5.1 Representación de la resolución del problema 3 realizada por Dani.	152
Figura 5.2. Un grupo de estudiantes y profesores en la construcción de un modelo molecular	157
Figura 5.3 Fragmento de una partida de Químimo, donde se observan las relaciones Z-S, V-Z y S-Z	158
Figura 5.4. Un grupo de estudiantes en desarrollo de una partida de Químimo	158
Figura 5.5. Sudoku de grupos funcionales. Tomado de Crute y Myers (2007)	159
Figura 6.1 Sección de la respuesta dada por Dani a la pregunta número 9 del cuestionario preliminar	181
Figura 6.2: Sección de la respuesta de Cata a la pregunta número 1 del cuestionario preliminar	183
Figura 6.3. Respuesta de Cata a la pregunta número 9 del cuestionario preliminar	184
Figura 6.4. Respuesta de Cata a la pregunta número 7 del cuestionario preliminar	184
Figura 6.5. Respuesta de Lina a la pregunta número 2 del cuestionario preliminar	185
Figura 6.6. Respuesta de Lina a la pregunta número 7 del cuestionario preliminar	186
Figura 6.7. Respuesta de Lina a la pregunta número 9 del cuestionario preliminar	186
Figura 6.8. Respuesta de Lina a la pregunta número 10 del cuestionario preliminar ..	186
Figura 6.9. Respuesta de Alejo a la pregunta número 1 del cuestionario preliminar ...	187
Figura 6.10. Respuesta de Alejo a la pregunta número 10 del cuestionario preliminar	188
Figura 6.11. Respuesta de Niko a la pregunta número 1 del cuestionario preliminar .	189
Figura 6.12. Respuesta dada por Niko a la pregunta número 7 del cuestionario preliminar	190

Figura 6.13. Sección de la respuesta dada por Carlos a la pregunta número 7 del cuestionario preliminar	19
Figura 6.14. Sección de la respuesta dada por Carlos a la pregunta número 9 del cuestionario preliminar	192
Figura 6.15. Estructura general de los tres tipos de cartas utilizadas en el juego Quimino	193
Figura 6.16. Solución de Alejo al Sudoku de grupos funcionales	203
Figura 6.17. Sección de la resolución al problema número 14 realizada por Dani	208
Figura 6.18. Sección de la resolución al problema número 16 realizada por Dani.....	209
Figura 6.19. Sección de la resolución al problema número 11 realizada por Dani.....	209
Figura 6.20. Sección de la resolución al problema número 9 realizada por Dani.....	210
Figura 6.21. Sección de la resolución al problema número 7 realizada por Dani.....	210
Figura 6.22. Secciones de las respuestas de Dani a los problemas número 13 y 17.....	212
Figura 6.23. Sección de la resolución al problema número 4 realizada por Dani.....	212
Figura 6.24. Resolución al problema número 11 realizada por Dani.....	214
Figura 6.25. Resolución al problema número 14 realizada por Dani.....	215
Figura 5.26. Sección de la respuesta de Dani al problema 1.....	216
Figura 6.27. Sección de la respuesta de Dani al problema 10.....	216
Figura 6.28. Respuesta de Dani al problema 16.....	219
Figura 6.29. Sección de la respuesta de Dani al problema 10.....	219
Figura 6.30. Sección de la respuesta de Cata al problema 7	220
Figura 6.31. Sección de la respuesta de Cata al problema 10	223
Figura 6.32. Sección de la respuesta de Cata al problema 8	224
Figura 6.33. Sección de la respuesta de Cata al problema 4	225
Figura 6.34. Sección de la respuesta de Cata al problema 14	226
Figura 6.35. Sección de la resolución de Cata al problema 11	227
Figura 6.36. Sección de la respuesta de Cata al problema 4	227
Figura 6.37. Sección de la respuesta de Cata al problema 2	228

Figura 6.38. Sección de la respuesta de Cata al problema 9	229
Figura 6.39. Sección de la respuesta de Cata al problema 13	229
Figura 6.40. Sección de la respuesta de Lina al problema 8	233
Figura 6.41. Sección de la respuesta de Lina al problema 7	234
Figura 6.42. Respuesta de Lina al problema 7	234
Figura 6.43. Respuesta de Lina al problema 13	235
Figura 6.44. Respuesta de Lina al problema 3	236
Figura 6.45. Sección de la respuesta de Lina al problema 1	236
Figura 6.46. Sección de la respuesta de Lina al problema 12	237
Figura 6.47. Sección de la respuesta de Lina al problema 1	238
Figura 6.48. Sección de la respuesta de Lina al problema 3	238
Figura 6.49. Sección de la respuesta de Lina al problema 10	238
Figura 6.50. Sección de la respuesta de Lina al problema 10	239
Figura 6.51 Sección de la respuesta de Alejo al problema 3.....	242
Figura 6.52. Sección de la respuesta de Alejo al problema 7	243
Figura 6.53. Sección de la respuesta de Alejo al problema 1	243
Figura 6.54. Respuesta de Alejo al problema 12	245
Figura 6.55. Respuesta de Alejo al problema 14	245
Figura 6.56. Respuesta de Alejo al problema 3	246
Figura 6.57. Sección de la respuesta de Alejo al problema 12	247
Figura 6.58. Sección de la respuesta de Alejo al problema 4	248
Figura 6.59. Sección de la respuesta de Alejo al problema 20	248
Figura 6.60. Sección de la resolución al problema 20 realizada por Niko	253
Figura 6.61. Sección de la resolución al problema 16 realizada por Niko	254
Figura 6.62. Sección de la resolución al problema 8 realizada por Niko	255
Figura 6.63. Sección de la resolución al problema 1 realizada por Niko	256
Figura 6.64. Sección de la resolución al problema 14 realizada por Niko	257

Figura 6.65. Sección de la resolución a los problemas 3, 12 y 15 realizada por Niko	258
Figura 6.66. Sección de la respuesta de Carlos al problema 11	263
Figura 6.67. Sección de la respuesta de Carlos a los problemas 13 y 16	264
Figura 6.68. Sección de la respuesta de Carlos al problema 11	266
Figura 6.69. Sección de la respuesta de Carlos a los problemas 14, 2 y 10	268
Figura 6.70. Sección de la respuesta de Carlos al problema 19	268
Figura 6.71. Mapa conceptual elaborado por Dani para la reactividad de compuestos organometálicos	286
Figura 6.72. Mapa conceptual elaborado por Dani para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas	287
Figura 6.73. Mapa conceptual elaborado por Cata para la reactividad de compuestos organometálicos	290
Figura 6.74. Mapa conceptual elaborado por Cata para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas	291
Figura 5.75. Mapa conceptual elaborado por Lina para la reactividad de compuestos organometálicos	293
Figura 5.76. Mapa conceptual elaborado por Lina para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas	294
Figura 5.77. Mapa conceptual elaborado por Alejo para la reactividad de compuestos organometálicos	296
Figura 5.78. Mapa conceptual elaborado por Alejo para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas	297
Figura 6.79. Mapa conceptual elaborado por Niko para la reactividad de compuestos organometálicos	300
Figura 6.80. Mapa conceptual elaborado por Niko para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas	300
Figura 6.81. Mapa conceptual elaborado por Carlos para la reactividad de compuestos organometálicos	303
Figura 6.82. Mapa conceptual elaborado por Carlos para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetona.	304
Figura 7.1: Diagrama “V” de la investigación realizada en esta Tesis	338

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.1: Estructura pedagógica de la posición dominante del currículo de química .	25
Tabla 1.2: Dedicación horaria para los primeros tres niveles de estudiantes de química de la Universidad de Antioquia	41
Tabla 2.1: Clasificación de las dificultades encontradas al resolver problemas químicos y las propuestas de mejoras recomendadas por un grupo de 222 estudiantes	49
Tabla 3.1: Categorías y dimensiones conceptuales de la Química	98
Tabla 4.1: Cursos teóricos, experimentales y teórico experimentales, de los tres primeros semestres del programa de Química	129
Tabla 4.2. Estrategias de toma de registros	133
Tabla 4.3 Rúbrica para analizar el dominio del uso del lenguaje químico	137
Tabla 4.4 Rúbrica para evaluar los mapas conceptuales. Calificaciones obtenidas por Dani en los dos mapas que elaboró	138
Tabla 4.5 Rúbrica para analizar el dominio de la comprensión conceptual	140
Tabla 4.6 Escala para calificar la comprensión conceptual y niveles de dominio	140
Tabla 5.1 Contenidos relacionados con la reactividad química de compuestos carbonílicos en los cursos de Química Orgánica Uno y Dos	148
Tabla 6.1. Conceptos previos propuestos por los tres grupos de profesores para un primer curso de Química Orgánica	166
Tabla 6.2: Cursos de química y horas asignadas a los estudiantes de Química en la Universidad de Antioquia en los tres primeros niveles del programa	170
Tabla 6.3: Características del grupo de estudiantes que constituyen los cuatro casos de investigación	178
Tabla 6.4 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Dani a la indagación preliminar	183
Tabla 6.5 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Cata a la indagación preliminar	185
Tabla 6.6 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Lina a la indagación preliminar	187

Tabla 6.7 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Alejo a la indagación preliminar	188
Tabla 6.8 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Niko a la indagación preliminar	190
Tabla 6.9 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Carlos a la indagación preliminar	192
Tabla 6.10 Opiniones de los 24 estudiantes acerca de su participación en el juego Químico	194
Tabla 6.11 Parámetros extraídos de los diarios semiestructurados de los cuatro estudiantes inscritos en la investigación	197
Tabla 6.12: Total de cursos, créditos académicos y horas de dedicación, para el Cuarto semestre de los estudiantes de química de la Universidad de Antioquia	201
Tabla 6.13 Calificaciones concedidas a los seis estudiantes de los Casos de solución que dieron al Sudoku de grupos funcionales	204
Tabla 6.14: Clasificación de los problemas propuestos con enunciados relacionados entre sí	206
Tabla 6.15 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Dani	222
Tabla 6.16 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Cata	231
Tabla 6.17 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Lina	240
Tabla 6.18 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Alejo	250
Tabla 6.19 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Alejo	252
Tabla 6.20 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Niko	262
Tabla 6.21 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Carlos.....	270
Tabla 6.22 Calificaciones obtenidas por Dani en los dos mapas conceptuales que elaboró	288
Tabla 6.23 Calificaciones obtenidas por Cata en los dos mapas conceptuales que elaboró	291
Tabla 6.24 Calificaciones obtenidas por Lina en los dos mapas conceptuales que elaboró	294
Tabla 6.25 Calificaciones obtenidas por Alejo en los dos mapas conceptuales que	

elaboró	298
Tabla 6.26 Calificaciones obtenidas por Niko en los dos mapas conceptuales que elaboró	301
Tabla 6.27 Calificaciones obtenidas por Carlos en los dos mapas conceptuales que elaboró	305
Tabla 6.28 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Dani ...	308
Tabla 6.29 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Cata ...	309
Tabla 6.30 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Lina ...	310
Tabla 6.31 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Alejo ..	311
Tabla 6.32 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Niko ...	312
Tabla 6.33 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Carlos	313

CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 Perfiles de los 24 estudiantes: experiencia en horas dedicadas a asignaturas teóricas y experimentales y la apreciación cuantitativa del investigador a las respuestas del cuestionario preliminar al curso de Química Orgánica Uno	173
Gráfico 6.2 Relación entre el número de cursos teóricos y experimentales aprobados por un estudiante y la apreciación cuantitativa del investigador obtenida de las respuestas a las preguntas del cuestionario preliminar.	175
Gráfico 6.3 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría uno Dani	210
Gráfico 6.4 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos Dani	213
Gráfico 6.5 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría tres Dani	217
Gráfico 6.6 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cuatro Dani	220
Gráfico 6.7 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cinco Dani	221
Gráfico 6.8 Variación cualitativa de la resolución de los 20 problemas Dani	221
Gráfico 6.9 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría uno Cata	224
Gráfico 6.10 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos Cata	225
Gráfico 6.11 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría tres Cata	228
Gráfico 6.12 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cuatro Cata ...	230
Gráfico 6.13 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cinco Cata	230
Gráfico 6.14 Variación descriptiva para la resolución de los 20 problemas Cata	231
Gráfico 6.15 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría uno Lina	233
Gráfico 6.16 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos. Lina	235
Gráfico 6.17 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría tres. Lina	237
Gráfico 6.18 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cuatro Lina ...	239
Gráfico 6.19 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cinco. Lina ...	240
Gráfico 6.20 Variación descriptiva para la resolución de los 20 problemas Lina	240
Gráfico 6.21 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría uno Alejo	242
Gráfico 6.22 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos Alejo	244

Gráfico 6.23 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría tres. Alejo	246
Gráfico 6.24 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría 4. Alejo	249
Gráfico 6.25 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría 5. Alejo	250
Gráfico 6.26 Variación descriptiva para la resolución de los 20 problemas Alejo	251
Gráfico 6.27 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría uno. Niko	254
Gráfico 6.28 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos. Niko	255
Gráfico 6.29 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría tres. Niko	258
Gráfico 6.30 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cuatro Niko...	259
Gráfico 6.31 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cinco. Niko ...	261
Gráfico 6.32 Variación descriptiva para la resolución de los 20 problemas Niko.....	261
Gráfico 6.33 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría uno. Alejo	264
Gráfico 6.34 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos. Alejo	265
Gráfico 6.35 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría tres. Alejo	267
Gráfico 6.36 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría 4 Alejo	268
Gráfico 6.37 Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría 5. Alejo	269
Gráfico 6.38 Variación descriptiva para la resolución de los 20 problemas Alejo.....	270

RESUMEN

El presente trabajo pretende indagar el significado que atribuyen seis estudiantes universitarios a los conceptos de reactividad química, en reacciones de adición nucleofílica de compuestos carbonílicos, aldehídos y cetonas, durante la implementación de una enseñanza basada en el aprendizaje significativo, con énfasis en la resolución de problemas, donde la mediación del lenguaje químico es esencial. Se pretende conocer cómo utilizan los estudiantes el lenguaje químico mediante sus representaciones, la progresiva evolución de significados científicos y su comprensión conceptual. Con esa finalidad, se ha diseñado una investigación cualitativa descriptiva desde una intervención intencionada y participativa, utilizando un Estudio de Casos con seis estudiantes matriculados en el Programa de Química de la Universidad de Antioquia. Se planifican actividades de resolución de problemas a nivel personal y grupal, comprometidas con el trabajo de aula, que permiten a los estudiantes indagar sobre los significados conceptuales en química. También se valora el grado de dificultad de los estudiantes y sus preferencias en la resolución de problemas, en función de los contenidos conceptuales y sus relaciones presentes en los enunciados.

La propuesta didáctica de enseñanza desarrollada en la presente investigación se fundamenta en la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1968, 2003) y la teoría del Aprendizaje Crítico de Moreira (2005, 2010). Está constituida por un conjunto de actividades que orientan el trabajo de clase y favorecen el intercambio de significados entre profesores y estudiantes, priorizando la resolución de problemas. Así mismo, durante el proceso de enseñanza se busca también el desarrollo de habilidades de pensamiento, estrategias de estudio efectivas, la formación de valores, la capacidad crítica y la creatividad. Todos estos aspectos, al estar ligados a un correcto entendimiento y uso del lenguaje, están descuidados en la formación de estudiantes de secundaria y universitarios. Desde estos mismos referentes se han analizado los resultados obtenidos a partir de los registros utilizados durante la intervención didáctica.

Para la recogida de datos se propone y emplea una clasificación por categorías que incluyen diferentes conceptos pertenecientes al lenguaje químico relacionado con la reactividad química. También se han elaborado un conjunto de rúbricas que valoran el dominio del uso del lenguaje químico, la construcción de mapas conceptuales y el dominio de la comprensión conceptual, para describir el grado de adquisición de significados alcanzado por cada estudiante. Los resultados ofrecen una descripción detallada del uso y significado atribuido al lenguaje químico por los casos analizados durante las etapas del proceso de enseñanza.

Palabras clave: lenguaje químico, resolución de problemas, química orgánica.

ABSTRACT

The present work tries to investigate the meaning that six university students attribute to the concepts of chemical reactivity, in reactions of nucleophilic addition of carbonyl compounds, aldehydes, and ketones, during the implementation of teaching based on meaningful learning, with emphasis on the solving-problems, where the mediation of chemical language is essential. It is intended to know how students use chemical language through their representations, the progressive evolution of scientific meanings and their conceptual understanding. To that end, a descriptive qualitative investigation has been designed from an intentional and participatory intervention, using a Case Study with six students enrolled in the Chemistry Program of the University of Antioquia. Problem-solving activities are planned on a personal and group level, committed to classroom work, which allows students to inquire about conceptual meanings in chemistry. It also assesses the degree of difficulty of the students and their preferences in solving problems, depending on the conceptual contents and their relationships present in the statement.

The teaching proposal developed in this research is based on the theory of Meaningful Learning of Ausubel (1968, 2003) and the theory of the Critical Meaningful Learning of Moreira (2005, 2010). It is constituted by a set of activities that guide classwork and favor the exchange of meanings between teachers and students, prioritizing problem-solving. Likewise, during the teaching process, the development of thinking skills, effective study strategies, the formation of values, critical capacity and creativity are also sought. All these aspects, being linked to a correct understanding and use of language, are neglected in the training of secondary and university students. From these same references, the results obtained from the records used during the didactic intervention have been analyzed.

For the collection of data, a classification by categories that include different concepts belonging to the chemical language related to chemical reactivity is proposed and used. A set of rubrics that assess the mastery of the use of chemical language, the construction of conceptual maps and the mastery of conceptual understanding have also been developed to describe the degree of acquisition of meanings achieved by each student. The results offer a detailed description of the use and meaning attributed to the chemical language by the cases analyzed during the stages of the teaching process.

Keywords: chemical language, problem solving, organic chemistry.

CAPITULO 1

JUSTIFICACIÓN, PROBLEMAS Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 1: JUSTIFICACIÓN, PROBLEMAS Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

La ciencia química se encuentra en un proceso constante de expansión y su capacidad transformadora se ha desplegado notoriamente en los últimos 160 años. Según Schummer (1997, p. 113), se la considera la ciencia más productiva; cualquier proceso industrial, por simple que parezca, siempre incluye la manipulación de sustancias y/o mezclas en diferentes estados, ya sean sólidos, líquidos o gases; esto implica estar inmersos en un mundo material. Según la American Chemical Society, hasta mayo de 2019 están reportadas más de 73 millones de sustancias, sin embargo, este número es muy pequeño comparado con la hipotética cantidad de estructuras que un químico puede recrear utilizando tan solo una fórmula de composición; por ejemplo, el número de posibles isómeros del Tetracontano, cuya fórmula de composición es $C_{40}H_{82}$, alcanza la enorme suma de 62,49 billones. En consecuencia, la posible expansión del número de compuestos químicos pareciera jamás terminar. Imaginemos el número de isómeros para la molécula natural denominada hemoglobina, cuya fórmula de composición es $C_{2954}H_{4516}Fe_4N_{780}S_{12}O_{806}$, es un número enorme, “¿por qué no solo llamarlo un número químico?” (Hoffmann, 1997, p.40).

Lo anterior permite reflexionar sobre el dominio conceptual químico. Existe un conjunto casi infinito de posibles estructuras imaginadas por los químicos, aunque solo un grupo finito de sustancias puedan ser sintetizadas o aisladas a partir de algún proceso experimental, todas y cada una, con sus propiedades particulares, y con un potencial de aplicación para el desarrollo humano. Lo cierto es que todos los isómeros del Tetracontano no tienen aplicaciones de importancia para la Química, incluso muchos de sus isómeros jamás han sido dibujados y, mucho menos, nombrados en alguna de los millones de clases de Química en toda nuestra historia. Solo algunas sustancias conquistadas por los humanos tienen ese potencial de servicio e interés y son las responsables de los desarrollos que vislumbramos a diario, como nuevas aleaciones, medicamentos, polímeros, semiconductores, superconductores, aislantes, resinas, entre otros, son los que realmente permiten el progreso tecnológico de nuestra sociedad.

Como se ha mencionado, el dominio conceptual de la Química reúne un conjunto de posibles estructuras asociadas a las sustancias, interpretadas a partir de modelos, para

analizar y predecir problemas y comportamientos en contextos definidos, ya sean naturales, artificiales o simulados; también incluye un lenguaje químico multi representacional (Grove, Cooper y Cox, 2012) y dinámico, lleno de símbolos, permitiendo articular las conexiones entre lenguaje y modelos utilizados en cualquier discurso químico.

Dados los quehaceres y alcances de la Química de hoy y del futuro surge el interrogante, ¿qué estructuras conceptuales, procedimentales, estrategias y actitudes promover en la formación de nuestros estudiantes y cómo hacerlo, de modo que conformen un currículo de Química útil para el futuro próximo?

Iniciamos la respuesta a esta pregunta reconociendo las limitaciones del currículo tradicional. Desde la perspectiva de Talanquer (2008):

Los currículos de Química que hoy día son dominantes se basan en una concepción anticuada de la disciplina, que pone demasiado énfasis en el aprendizaje de lo que los químicos “saben”, o en las aplicaciones prácticas de dicho conocimiento, dejando a un lado el análisis, la discusión y la reflexión sobre cómo los químicos piensan y sobre el enorme poder predictivo, explicativo y transformador de su forma de ver el mundo (p. 6).

Los currículos de Química contienen en muchas ocasiones los tradicionales esquemas de trabajo químico del siglo pasado, se concentran inicialmente en una descripción del nivel eléctrico, intentando comprender la composición del átomo. Los electrones, protones y neutrones son las partículas donde se centran los problemas químicos; perder-ganar o ceder-aceptar, contar unidades resulta ser el objetivo conceptual, muy distante de lo que es la real preocupación de la Química. Es decir, comprender las sustancias y sus transformaciones. La directriz fundamental es el empirismo: hacer sin pensar, repetir los procedimientos para obtener los mismos resultados, jactarse solo con los cambios que pueden percibir los ojos, sin tomar una postura crítica y reflexiva del experimento. Parece que repetir fuese la clave de la enseñanza y el aprendizaje; en general, se presta mayor interés al desarrollo de habilidades algorítmicas para resolver problemas que al análisis y discusión cooperativa sobre las ideas y conceptos fundamentales para alcanzar un aprendizaje significativo y crítico. Es muy usual incluir en los currículos un número excesivo de temas, lo que presupone un estudio muy superficial de los mismos.

Las estructuras de los currículos tropiezan con la asimilación de ideas y conceptos, favorecen el simplismo, opacan el pensamiento químico, enseñan fenómenos químicos aislados, se preocupan más por los algoritmos y números para dejar a un lado las relaciones conceptuales entre estructuras, modelos, lenguaje químico, transformación de las sustancias y la resolución de problemas asociada a la interpretación, modelación, predicción y decisiones adecuadas.

En esta perspectiva curricular, en la XI Conferencia Internacional en Educación Química, realizada en 1991 en York, Inglaterra, con la participación de un grupo amplio de profesores e investigadores de los cinco continentes, se propone la caracterización de la estructura pedagógica de la posición dominante del currículo de Química, que se muestra en la tabla 1.1

Tabla 1.1 Estructura pedagógica de la posición dominante del currículo de Química

Características	Posición dominante del currículo químico
Objetivos	Iniciación y preparación para el futuro profesional de la Química. Aprender a sistematizar información química: explicación y predicción de propiedades y formulas.
Enseñanza	Dogma: propuestas teóricas y algoritmos que se reproducen según la capacidad de la escuela. Actividades que realizan los profesionales de la Química.
Aprendizaje	Memorización sin comprensión de diversos algoritmos (hechos, definiciones, teorías, técnicas).

Tomada de Van Berkel, De Vos, Verdonk y Pilot (2000, p. 129)

También en dicha conferencia, una de las ponencias plenarias estudió el proyecto “Conceptual Structure of School Chemistry (CSSC)”, llevado a cabo en la Universidad de Utrech, Holanda, cuya idea fundamental es reconocer si había una estructura común en la enseñanza de la Química en dichos países. Los responsables del proyecto y los investigadores invitados redactaron un documento con diez premisas sobre la enseñanza de la química, resumidas del siguiente modo (Van Berkel et al., 2000, p. 129):

1. La Química se incorpora como disciplina en la educación secundaria a partir del siglo XIX y siempre ha sido enseñada considerándola como una ciencia.
2. La Química es inmediatamente distinguida de otras ciencias naturales por su objeto de investigación, que es la reacción química.
3. El concepto de reacción es ejemplificado a través de reacciones específicas. En

ellas se enfatiza el hecho de su espectacularidad y diversidad, y ocasionalmente su predictibilidad.

4. Una manera de predecir las reacciones químicas es mediante el desarrollo de una teoría explicativa.
5. La posibilidad de predecir reacciones químicas se complementa a través de la Química descriptiva.
6. A pesar de que el concepto de reacción es fundamental en la Química escolar, se relaciona estrechamente con el concepto de sustancia químicamente pura. Es importante aprender cómo aislar e identificar sustancias. Esto explica que las técnicas de separación se aborden tan pronto en el currículo.
7. La posibilidad de predecir también se aplica a las sustancias y, como en el caso de las reacciones, la respuesta está en dos direcciones: desde lo teórico se introduce el concepto de valencia, con el cual se predicen fórmulas químicas; y en lo descriptivo, se ejemplifican sustancias individuales y en grupos.
8. Se realiza una distinción entre el nivel de fenómenos y el nivel de corpúsculos (átomos, moléculas, electrones). Una vez que se introduce el nivel corpuscular se usa para explicar reactividades y/o convenciones (como es el caso de la nomenclatura).
9. La estructura conceptual del currículo no se integra a una filosofía específica de la Ciencia o de la Química en particular.
10. La estructura tradicional del currículo muestra un desplazamiento de la Química descriptiva a la teórica como resultado del crecimiento de esta en los últimos años. La aproximación teórica parece ofrecer una forma más eficiente de organizar los contenidos de enseñanza y, sin embargo, al mismo tiempo, la Química es más difícil de aprender por los estudiantes.

Finalmente, la XI Conferencia enfatiza que la tradición alrededor del currículo en su posición dominante es avalada por la forma de evaluación de los aprendizajes, el desarrollo de las clases, las preguntas planteadas por el profesor y no por los alumnos, el proceso educativo centrado en el menor esfuerzo y mayor mecanización, lo cual conlleva una enorme dificultad para el cambio.

La estructura de un currículo útil para el futuro próximo debe comenzar por reconocer una postura educativa que promueva la enseñanza y el aprendizaje con

significado, que permita situar a los estudiantes en su entorno social, que favorezca el trabajo colaborativo, el dialogo, el debate y el uso intencionado de los lenguajes natural y químico, así como integrar una perspectiva epistémica que contribuya a reconocer sus aspectos positivos y negativos para la sociedad del desarrollo tecnológico, innovador y científico contemporáneo. Esto es coherente con los principios orientadores de la teoría del aprendizaje significativo crítico de Moreira (2010), ya que ésta menciona la necesidad de realizar un esfuerzo por formar un tipo de estudiante que participe de su cultura y al mismo tiempo esté fuera de ella, tome decisiones con argumentos, aprenda una posición crítica de cómo asumimos el mundo y su cambio influenciado por la ciencia, lo que requiere de estrategias de adaptabilidad rápida y de supervivencia, del aprendizaje de contenidos en un contexto de desarrollo personal y social.

Aquí es pertinente reconocer que la influencia del desarrollo científico en nuestra sociedad toca todos los ámbitos cotidianos desde las pequeñas y grandes empresas hasta tiendas, mercados, comunidades, familias, personas y son las escuelas las encargadas de impartir la educación en ciencias y definir sus alcances. Al respecto Jiménez y Sanmartí (1997) plantean los siguientes postulados orientadores del diseño curricular:

- El aprendizaje de conceptos y la construcción de modelos.
- El desarrollo de:
 - destrezas cognitivas y de razonamiento científico.
 - destrezas experimentales y de resolución de problemas.
 - actitudes y valores.
- La construcción de una imagen de la ciencia.

Estos postulados integrados en la perspectiva de aprendizaje significativo crítico y en la formación académica y compromiso personal del docente pueden propiciar en la escuela una formación en Ciencias Naturales y, en particular en Química, que aliente en los estudiantes la adquisición de una percepción conceptual (evitando que solo se logre una percepción sensorial), y la mejora de sus habilidades comunicativas, con tareas enfocadas a la lectura, escritura e interpretación, las cuales posibilitan el análisis, la diferenciación, la clasificación, la crítica y la comunicación, elementos fundamentales para el desarrollo cognitivo personal. Potenciar la conceptualización antes que la memorización es fundamental para afrontar la resolución de problemas químicos. Trabajar constantemente con diferentes formas de representación es crucial para

alcanzar la comprensión del lenguaje químico. Llevar nuevos problemas químicos al aula, ejemplos actualizados, discutir los acontecimientos divulgados en medios de comunicación que implican procesos químicos, pueden captar la atención, refrescar el ambiente de clase y lograr mayor participación efectiva de los estudiantes.

La dinámica de reestructuración de los contenidos conceptuales, procedimentales, actitudinales y las estrategias de trabajo se movilizan por el interés de mejorar la cognición de nuestros estudiantes, pero para ello también hay que reflexionar acerca de cómo orientar la enseñanza para potenciar aprendizaje con significados claros, pertinentes, transferibles y críticos, es decir, que ayude a fortalecer los procesos de resolución de problemas.

Por otra parte, en Colombia el currículo designado por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) para el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental en los niveles de educación, básica y secundaria, se estructura en 1998 con los Lineamientos Curriculares. En éstos se plantea una filosofía constructivista, tanto para la concepción de las ciencias como para la enseñanza de contenidos científicos. Se propone que los docentes estructuren currículos acordes con los avances modernos, comprometidos con didácticas que faciliten la comprensión, promuevan acciones para entusiasmar a los estudiantes por las Ciencias Naturales y alcancen los logros planteados en dichos lineamientos para cada grado escolar. La descripción del currículo incluye también para los docentes, lineamientos sobre uso del lenguaje natural y científico, se reconocen sus diferencias y se recomienda el tránsito del primero hacia el segundo con una estrategia pausada, mediante la acción comunicativa, que permita a los estudiantes sentir la necesidad de apropiarse de un lenguaje científico con significado, para afrontar tareas y resolución de problemas.

Además, los Lineamientos Curriculares recomiendan posicionar en el aula una didáctica de enseñanza de las Ciencias Naturales centrada en la Resolución de Problemas, indicando una secuencia de etapas para llevarlas a cabo en el aula en los diferentes grados educativos. En síntesis, apropiación del Lenguaje Científico y Resolución de Problemas constituyen una dialéctica para procurar el aprendizaje significativo en la comprensión de los contenidos y su apropiación, de modo que capacite a los estudiantes para actuar en el mundo de la vida.

A partir de los Lineamientos Curriculares se proponen los Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias Naturales y Ciencias Sociales (2004-2006). Se organizan contenidos y competencias para los grados primero a onceavo en las diversas áreas. En particular, en Ciencias Naturales se pone el énfasis en los contenidos a desarrollar en Biología, Física y Química de primero a onceavo grado, orientados a guiar a los estudiantes en lo que deben saber y hacer, en lo que deben aprender y cuál será su formación en compromisos personales y sociales.

En el año 2017 el Ministerio, en coherencia con los Lineamientos Curriculares y los Estándares Básicos de Competencias (EBC), los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA), propone articularlos con el Proyecto Educativo Institucional, plan de área, enfoques, metodologías, estrategias y contextos de cada institución educativa. Los DBA explicitan los aprendizajes estructurantes para cada grado en un área del saber escolar. Su importancia radica en que plantean elementos para construir rutas de enseñanza que promuevan la consecución de aprendizajes año a año para que, como resultado de un proceso, los estudiantes alcancen los EBC propuestos para cada grupo de un grado escolar. Aunque los DBA son formulados para cada grado, el maestro puede trasladarlos de uno a otro en función de las especificidades de los procesos de aprendizaje de los estudiantes, es decir, se consideran una estrategia para promover la flexibilidad curricular ya que definen aprendizajes amplios que requieren de procesos a lo largo del año y no son alcanzables con una o varias actividades.

A pesar de las intencionalidades de los Lineamientos Curriculares, EBC y DBA, existen diferencias entre las recomendaciones realizadas y lo realmente desarrollado en la mayoría de las aulas de Ciencias Naturales. En estas, la enseñanza tiene en común varios aspectos del currículo dominante en Química ya mencionados en la XI Conferencia, como son: el uso de algoritmos que se reproducen sin entender los contextos de la tarea, la memorización sin comprensión de diversos hechos, definiciones, teorías y técnicas. Adicionalmente, nuestras instituciones educativas programan dos horas en el sector urbano y una en las regiones rurales para las asignaturas de Ciencias Naturales (Química). También, se presta poca atención a la utilización del Lenguaje Científico y a las metodologías de Resolución de Problemas.

Ahora bien, los responsables de llevar a la práctica el currículo son los docentes, demandándose actualmente por el MEN profesores con buena formación, tanto en lo pedagógico y didáctico de las Ciencias Naturales como en contenidos modernos. En

Colombia, la formación de profesores en pregrado y posgrado, en el área de Ciencias Naturales, para la educación básica y media es reducida. La posibilidad de acceder a una Universidad es considerada, por muchos, como ganar una lotería, pues es muy bajo el número de cupos que ofrecen las universidades públicas. Además, está disminuyendo cada año el número de personas interesadas en el área de Ciencias de la Naturaleza y en su pedagogía y didáctica.

Esto se manifiesta en una baja cantidad de profesores capacitados para ejercer la docencia. Por ejemplo, para desempeñarse en Ciencias Naturales-Química, el MEN convoca a diferentes tipos de profesionales para suplir las plazas de educación media en todo el país, como Médicos, Médicos Veterinarios, Microbiólogos, Biólogos, Ingenieros de Alimentos, entre otros. Estos profesionales expertos en su área, desconocen muchos de los aspectos del quehacer químico, algunos de ellos solo han participado de dos cursos de Química en su pregrado, situación que los limita para desarrollar, de modo adecuado, contenidos conceptuales y procedimentales, sus relaciones con la resolución de problemas, el lenguaje y la representación en química, así como para la interpretación de nuevos desarrollos químicos.

Además de las limitaciones en la formación disciplinar de los docentes, están aquellas referidas a lo didáctico caracterizado por aspectos ya mencionados del currículo dominante, situaciones que propician, según la percepción y experiencia del docente investigador el que los estudiantes admitidos a la universidad posean una actitud operativa de bajo fundamento conceptual e inadecuado para resolver preguntas y problemas en química, con experiencias de aprendizaje mecánicas y memorísticas, lo que les implica una doble tarea, desaprender y reaprender los conceptos apropiados.

La transición entre las instituciones educativas y la universidad requiere un cambio significativo en las demandas conceptuales para los estudiantes; esto implica adaptarse a las nuevas exigencias para poder subsistir al nuevo entorno académico. Inicialmente presentan un examen de admisión para quedar posicionados en el 5% que finalmente serán quienes pueden comenzar un programa académico en el caso de las universidades públicas.

Particularmente en el programa de Química de la Universidad de Antioquia, el 90% de los estudiantes que ingresan están categorizados en los más bajos niveles socioeconómicos de la ciudad, estratos 1, 2 y 3, procedentes de instituciones de

educación pública, con bajos estándares académicos en las clasificaciones realizadas por el Estado, en comparación a las instituciones de carácter privado. El perfil de estos estudiantes está ligado a un esfuerzo particular y familiar por la superación personal, ya que muchos de estos hogares no han tenido como cabeza de familia a un padre y/o una madre profesional y en muchos casos ni siquiera con la formación media. Cabe decir que aún con las limitaciones socioeconómicas hay una cultura en pro de la educación, los padres, madres y estudiantes reconocen la importancia de estudiar, como una opción de vida digna. Esto se expresa, por ejemplo, en el proceso de admisión de la Universidad de Antioquia, donde en promedio el número de aspirantes que se presentan al comienzo de cada semestre académico es de aproximadamente 50.000 estudiantes de una ciudad que cuenta con 3,5 millones de habitantes.

En los primeros niveles del programa de Química, los estudiantes se matriculan en un conjunto de asignaturas teóricas y experimentales donde interactúan con un conjunto de conceptos, relaciones conceptuales, símbolos, fórmulas, ecuaciones, modelos moleculares, actividades experimentales, propios de la Ciencia Química. La experiencia docente del investigador durante 10 años, da lugar a reconocer limitaciones y dificultades en la apropiación de conceptos, a la preferencia de los estudiantes por memorizar palabras y proposiciones, en muchos casos alentados desde la enseñanza por procedimientos operativos numéricos, sin prestar atención a la información estructural, a los significados atribuidos a las fórmulas moleculares, estructurales y unidades fórmula, palabras, símbolos y ecuaciones químicas y al contexto del sistema químico en escena. Cuestiones éstas que a nuestro parecer se traducen en debilidades para afrontar la interpretación de enunciados y procesos de resolución de problemas.

Moreno y Caballero (2008), realizaron un estudio con alumnos del cuarto nivel universitario sobre los conceptos previos para asumir la asignatura de Química Orgánica Uno. En este estudio se evidencia cómo los estudiantes, aún habiendo cursado y aprobado un conjunto de hasta diez asignaturas de química previas al curso de Química Orgánica Uno, no alcanzan una conceptualización que los sitúe de forma favorable frente al curso en cuestión; tal deficiencia se manifiesta en la incomprensión de enunciados, en la mala representación de fórmulas estructurales y al clasificar y describir sustancias y propiedades, entre otros. El desempeño más alto, medido mediante una calificación cuantitativa, corresponde a un alumno que cursó y aprobó ocho cursos de Química, mientras que el más bajo concierne a un alumno con una trayectoria con cinco cursos.

En otros estudios con alumnos de segundo nivel universitario, relacionados con el aprendizaje significativo de fórmulas químicas estructurales, Alzate, Restrepo y Moreno (2001) identifican dificultades en: la representación de los símbolos químicos y la relación espacial de grupos funcionales, la comprensión de estructuras tridimensionales dibujadas en 2D, la representación de una fórmula estructural y la relación representacional de ésta con la sustancia. Y, Alzate (2002) detalla cómo alumnos de un mismo nivel no diferencian sustancia simple y elemento químico, mezcla y sustancia compuesta; conceptos necesarios para la comprensión de las sustancias, sus propiedades y transformaciones, así como para dar significado a las fórmulas químicas. A su vez, la mayoría carece de adecuadas representaciones en dos y tres dimensiones respecto a fórmulas químicas y modelo molecular.

Una alternativa didáctica para promover la transición de un aprendizaje mecánico a uno significativo es la resolución de problemas, cuando se desarrolla de modo significativo y no sólo algorítmico, es decir, cuando se procura en todo momento que el estudiante explicita sus ideas previas y las relaciones con los nuevos conceptos, que explore posibles soluciones y aporte otros puntos de vista para problemas ya conocidos; y cuando se provoca una transformación del conocimiento adquirido.

Dada la inserción en el aprendizaje mecánico durante largo tiempo y acostumbrados a la manipulación de algoritmos, los estudiantes suelen ser capaces de resolver problemas usando algoritmos sin necesidad de comprender los conceptos químicos implícitos en las preguntas e informan muchas veces sobre la respuesta esperada, pero ignoran su significado (Chiu, citado por Modak, 2004). Enfrentar de modo significativo un problema es promover el esfuerzo personal y colaborativo, la superación del aprendizaje mecánico y una posibilidad para el logro del aprendizaje significativo y crítico evidenciado a través de la resolución de problemas.

La resolución de problemas, considerada como una metodología activa de aprendizaje, provoca que los estudiantes se enfrenten a tareas novedosas y a la valoración de las posibles soluciones; pero habitualmente, en su proceso de resolución, los estudiantes se encuentran con muchas dificultades que les produce desmotivación y abandono, argumentando que no se comprenden los conceptos y contenidos necesarios para enfrentarse a ellos.

En esa medida, es importante propiciar una metodología donde la resolución de problemas se desarrolle de modo significativo, procurando en todo momento que el estudiante realice una transformación del conocimiento adquirido, puesto que la resolución de problemas proporciona relaciones nuevas de conceptos previos, aportando otros puntos de vista de escenarios conocidos. Por lo tanto, como afirma Novak (1991) “la resolución de problemas da una evidencia del aprendizaje significativo” (p. 217), es decir, el aprendizaje significativo que se logre permitirá evidenciar el grado de aprendizaje alcanzado en la resolución del problema (Moreira, 2000).

En esta investigación se considera la resolución de problemas como eje central, y el primer énfasis se focaliza en el enunciado de los mismos. Su comprensión inicial es considerada indispensable en todas las propuestas metodológicas que ofrece la investigación (Azcue, Diez, Licanera y Scandroli, 2003; Del Valle y Curotto, 2008; Nurrenbern y Pickering, 1987). Las diferentes redacciones que puede adoptar un mismo problema constituyen un factor significativo en los resultados obtenidos. Por ello, es muy importante reconocer cómo se implementa el lenguaje natural y el lenguaje químico o cómo el estudiante representa la información para lograr generar un adecuado planteamiento y solución a un problema o nueva tarea planteada. El no tener adecuadas competencias de escritura y lectura afecta a todas las áreas académicas, por tanto, el problema del lenguaje es un fenómeno común a toda la comunidad educativa, considerando que el lenguaje en el proceso de enseñanza es una mediación intencionada para promover el acto consciente de pensar.

En este estudio se pretende indagar sobre la evolución del aprendizaje de los estudiantes durante el proceso de Resolución de Problema, sobre el significado que atribuyen a las reacciones de adición nucleofílica a compuestos carbonílicos, aldehídos y cetonas (Nelson, Kumar y Ramasamy., 2015), mediadas por el lenguaje químico, y sobre los significados que atribuyen a los enunciados de problemas de química y cómo estos afectan al proceso de resolución. Para ello, se ha diseñado una investigación cualitativa descriptiva desde una intervención intencionada y participativa, utilizando un Estudio de Casos con seis estudiantes matriculados en el Programa de Química de la Universidad de Antioquia. Se han planificado actividades personales y grupales comprometidas con el trabajo de aula, que permiten a los estudiantes indagar sobre los significados conceptuales; estas actividades se comportan como facilitadoras en la metodología de resolución de problemas. Los significados conceptuales que van

desarrollando los estudiantes se infieren de las respuestas que dan a las actividades que se han planificado para ello.

Así mismo, mediante las actividades también se pretende fomentar el desarrollo de habilidades de pensamiento, estrategias de estudio efectivas, la formación de valores, la capacidad crítica y la creatividad. Todos estos aspectos, al estar ligados a un correcto entendimiento y uso del lenguaje, están descuidados en la formación de estudiantes de secundaria y universitarios (Silberman 1981, Huddle y Pillay 1996).

1.2 Justificación del problema

En la teoría del Aprendizaje Significativo y Significativo Crítico, la resolución de problemas es considerada como una metodología activa de aprendizaje; propende que los estudiantes se vean enfrentados a nuevas situaciones que retan sus habilidades mentales, tales como: atribuir significados, establecer relaciones, jerarquizar conceptos y clasificarlos, inferir significados, entre otras. Los nuevos significados proporcionan relaciones nuevas de conceptos, aportan otros puntos de vista de escenarios ya conocidos, estimulan la capacidad de poner en acción sus conceptos para que así adquieran sentido sus significados previos. Además, la valoración de las posibles soluciones de un problema son un indicio de un adecuado proceso de aprendizaje significativo. Es así como los procesos de enseñanza y aprendizaje tienden a que los estudiantes alcancen un alto grado cognitivo y mejoren su desarrollo personal y social.

En la experiencia de varios años el investigador ha detectado algunas dificultades que presentan los estudiantes, particularmente en los cursos de Química Orgánica, por ejemplo: no utilizan adecuadamente los pares de electrones libres en las tareas representativas y mecanismos de reacción; de igual forma conceptos como las cargas eléctricas, símbolos químicos, fórmulas estructurales, entre otros, son descuidados en las representaciones en el momento de resolver problemas, lo que atañe al lenguaje químico como mediador en dicha tarea, deficiencia reportada por Ver Beek y Louters (1991). También se evidencia en los estudiantes una preferencia algorítmica por resolver problemas, dificultando el aprendizaje de la reactividad química, donde las tareas están exentas de procedimientos numéricos.

Estas dificultades que tienen los estudiantes hacen necesario que se les enseñe una nueva forma para enfrentarse a problemas, donde predomine el significado conceptual

acompañado de la representación pictórica y semántica del lenguaje químico que permite la intercomunicación. La atribución de significados por los estudiantes sobre la reactividad química es un proceso lento y demanda un esfuerzo adicional para lograr la asimilación, siendo necesarias actividades comprometidas con el proceso de aprendizaje.

La metodología en resolución de problemas aporta una alternativa de trabajo de acuerdo a sus características; en esta investigación se lleva a cabo con la pretensión de indagar sobre el significado que los estudiantes atribuyen a las reacciones de Adición Nucleofílica a través de la implementación del lenguaje químico utilizado por ellos como indicativo de su aprendizaje. Por medio de la interpretación y resolución de problemas se busca, en el desarrollo de las clases y actividades, propiciar un aprendizaje significativo y crítico, al procurar que los estudiantes realicen una transformación del conocimiento adquirido.

La estructura de un enunciado puede generar situaciones donde se facilita o dificulta la resolución del problema. La forma de presentar el enunciado, así como la cantidad y categoría de los conceptos, se expresan a través del lenguaje y su función mediadora permite la interacción con aspectos relevantes presentes en la estructura cognitiva del aprendiz, quien ejerce la tarea de comprender el enunciado. A partir de su interpretación se procede al planteamiento y resolución del problema.

Se trata de indagar sobre cuáles son las estructuras de enunciados, en el contexto de la Química Orgánica, que ayudan a la resolución significativa de problemas. Lo cual servirá para asistir a los docentes a planear sus pruebas, a preocuparse por el aprendizaje significativo de sus estudiantes, a generar nuevas formas de evaluación, a la planificación de clases y a la estructuración de los currículos.

En consecuencia, en esta investigación, la resolución de problemas en la perspectiva de Aprendizaje Significativo Crítico se integra al conocimiento disciplinar específico de la reactividad química, adición nucleofílica en compuestos carbonílicos, aldehídos y cetonas, un tópico obligatorio para cualquier curso de Química Orgánica.

1.3 Problema

Esta tesis pretende indagar, en seis estudiantes matriculados en el Programa de

Química de la Universidad de Antioquia de cuarto nivel, sobre el significado que atribuyen a las reacciones de Adición Nucleofílica de compuestos Carbonílicos Aldehídos y Cetonas, mediadas por el lenguaje químico en términos de fórmulas químicas moleculares, fórmulas estructurales, ecuaciones químicas, propiedades eléctricas en moléculas y mecanismos de reacción; y sobre cómo evolucionan en la comprensión, la escritura y uso de los conceptos químicos trabajados en el transcurso de dos semestres académicos, en dos Cursos de Química Orgánica.

También se pretende describir cómo los estudiantes resuelven problemas químicos del tipo lápiz y papel formulados con enunciados de distintos grados de complejidad, que presentan o no conceptos con diferentes grados de abstracción. Es decir, se desea averiguar si la forma en como es presentado el enunciado de un problema, variando la cantidad y categoría de los conceptos que se incluyan en el mismo, favorece su comprensión y posterior resolución.

En consecuencia, se pretende indagar: i) si los estudiantes dan significado a la reactividad química en términos del lenguaje químico como: símbolos químicos, fórmulas químicas moleculares, fórmulas estructurales, ecuaciones químicas, propiedades eléctricas y mecanismos de reacción, ii) hasta qué grado utilizan las fórmulas, propiedades eléctricas, ecuaciones, y mecanismos de reacción, es decir, con profundidad o de modo simple. En definitiva, se trata de identificar en los estudiantes cómo es el aprendizaje sobre la reactividad de Aldehídos y Cetonas, la apropiación del lenguaje químico y la comprensión de los enunciados asociados a la resolución de problemas.

La clase de problemas químicos que se presentan para el análisis se inscribe en el contexto de reactividad química de compuestos alifáticos, cíclicos y aromáticos, caracterizados con el grupo funcional carbonilo de aldehídos y cetonas que implica los mecanismos de reactividad de adición nucleofílica.

La investigación se desarrolla en un ambiente tradicional de aula de clase, donde se favorecen las condiciones para un aprendizaje significativo y crítico. Se seleccionaron inicialmente cuatro estudiantes pertenecientes al Programa de Química y posteriormente otros dos estudiantes más. Los estudiantes trabajaron de forma individual y en grupos de trabajo, para ayudarse en la familiarización y discusión de los aspectos, planteamiento, solución y comprobación de los problemas químicos

propuestos. La interacción del lenguaje químico se utiliza en cada etapa como mediador y, a través del mismo, se obtienen registros específicos de cada estudiante. Empleamos el modelo de Estudio de Casos, utilizando diferentes instrumentos que permiten obtener una adecuada información de cada estudiante participante, tales como entrevistas, construcción de mapas conceptuales, discusiones grupales, bitácoras de campo, indagación de conceptos previos y pruebas parciales.

1.4 Preguntas de la investigación

Las preguntas formuladas en la presente investigación son las siguientes:

- ¿Cómo utilizan los estudiantes el lenguaje químico mediante las representaciones que realizan al resolver problemas relacionados con la reactividad química de compuestos carbonílicos?
- ¿Cómo evoluciona en los estudiantes a lo largo de dos semestres académicos en que se implementa la propuesta didáctica de las asignaturas Química Orgánica Uno y Dos el lenguaje químico y el significado conceptual en la resolución de problemas químicos relacionados con la reactividad de compuestos carbonílicos?
- ¿Cuál es más difícil de resolver por los estudiantes, un problema enunciado con varios conceptos químicos y algunas relaciones entre ellos, en función del lenguaje químico utilizado, o un mismo problema con un enunciado que contiene pocos conceptos químicos, pocas relaciones entre estos y escasa información? ¿Cuál de estos dos tipos de problemas prefieren los estudiantes resolver?
- A medida que avanza la propuesta didáctica basada en potenciar el aprendizaje significativo, ¿los estudiantes mejoran en la comprensión del lenguaje utilizado en los enunciados y en la resolución de los problemas?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Describir el nivel representacional y uso del lenguaje químico de los estudiantes mediante el proceso de resolución de problemas relacionados con la reactividad química, adición nucleofílica de compuestos carbonílicos, aldehídos y cetonas. Y averiguar cómo evoluciona la implementación del lenguaje químico y la comprensión conceptual durante la resolución de problemas, como consecuencia de una enseñanza basada en Aprendizaje Significativo durante dos semestres académicos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Detallar cómo utilizan los estudiantes el lenguaje químico en la resolución de problemas sobre reactividad química, adición nucleofílica de compuestos carbonílicos, aldehídos y cetonas.
- Describir a partir de la implementación de las actividades complementarias (construcción de modelos moleculares, Sudoku de grupos funcionales, Químimo, entre otros) la apropiación de significados y de representación de conceptos químicos.
- Describir la evolución que experimentan los estudiantes en el uso de la notación química y comprensión conceptual en la resolución de problemas relacionados con la reactividad de compuestos carbonílicos, aldehídos y cetonas, mediante la intervención didáctica a lo largo de dos semestres académicos.
- Explorar, mediante un estudio de casos, la evolución en el lenguaje químico y la comprensión conceptual mediante la resolución de problemas químicos en el contexto de reactividad química.
- Identificar la preferencia de los estudiantes al enfrentarse a la resolución de problemas, cuando en los enunciados se cambia la cantidad y categoría de conceptos químicos en función del lenguaje químico, al aumentar el grado de dificultad.

1.6 Aspectos metodológicos

La investigación se orienta en el campo de la metodología cualitativa descriptiva, en particular un enfoque etnográfico de estudio de casos en la modalidad observación participante del investigador. La interacción entre estudiantes y profesor mediada a través de un material potencialmente significativo se lleva a cabo en el aula de clase de química de cuarto nivel universitario, asignaturas Química Orgánica I y II, del programa de Química de la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

La intervención se realiza durante dos semestres académicos de 16 semanas cada uno, dos sesiones de dos horas semana, y un conjunto de reuniones extra-clase, algunas en grupo y otras individuales, dedicadas al dialogo, resolución de problemas e indagación de actividades de clase entre investigador y los grupos de estudiantes.

Los cuatro estudiantes (Dani, Cata, Lina y Alejo) que inicialmente se seleccionaron para el estudio de Casos accedieron de modo voluntario a colaborar en la investigación (ver Anexo A), con el compromiso de realizar todas las actividades extra-clase. Participan en primer lugar, de las actividades regulares del curso de Química Orgánica I, integrado por 24 estudiantes y, en segunda instancia, del de Química Orgánica II quinto nivel, conformado con 25 estudiantes. El profesor es también el investigador autor de la presente Tesis. Posteriormente se seleccionaron otros dos Casos, los estudiantes Niko y Carlos, debido a que en la primera selección de casos se presentaron tres bajas de estudiantes que abandonaron el proceso. Para este segundo grupo de dos estudiantes, el investigador actuó como profesor observador en las clases de ambos cursos y dirigió el trabajo extra-clase.

En el aula de clase se favorece un ambiente propicio para compartir y debatir significados, reaprender y aprender y realizar el trabajo grupal e individual según el momento del proceso de enseñanza y aprendizaje. Los estudiantes adquieren significados, acompañados de una continua transformación cognitiva personal.

Es importante conocer e identificar los antecedentes de los alumnos en su educación, en particular, los anteriores niveles cursados en la formación universitaria, esto como primer referente exploratorio para la planeación del curso de Química Orgánica Uno.

Mediante el registro y la percepción del investigador, como observador participante en los espacios de aprendizaje, se describen las acciones de los estudiantes

durante el desarrollo de las clases y las actividades propias del trabajo autónomo y grupal. El propósito es tratar de describir las estructuras personales de asimilación de conceptos mediados por el lenguaje a través de cuestionarios informales, diálogos individuales, con el profesor y otros estudiantes, además de las respuestas dadas a las tareas propuestas, la resolución de problemas, la interpretación de diagramas y mapas conceptuales, y la presentación de pruebas donde se deba demostrar la transformación del conocimiento adquirido, propias de una evaluación clásica, dado que estas son de ambiente familiar para ellos.

El enfoque cualitativo descriptivo en el estudio de casos, acompañado de los mecanismos de toma de registros como: cuaderno de campo del investigador, bitácora de trabajo y autobiografía de estudiantes, solución de tareas, entrevistas, son actividades que permiten el desarrollo de la metodología de investigación. Los datos aportados por los estudiantes permitirán describir cómo cada uno de ellos implementa el lenguaje químico en la resolución de problemas y pone en acción la representación química; también se podrá indagar sobre la preferencia de los estudiantes por la clase de enunciado, además de cómo es la evolución personal en la comprensión de estos y sus representaciones.

La experiencia previa personal a la universitaria de los seis estudiantes sobre la enseñanza de la Química fue aproximadamente de dos horas de clase a la semana, durante el periodo de diez meses, en los grados escolares décimo y undécimo cursados durante la educación secundaria. Y en la Universidad, la formación recibida sobre química antes de recibir el Curso de Química Orgánica se recoge en la tabla 1.2, donde se especifica las horas teóricas y prácticas de los Cursos recibidos.

Los cursos teóricos comprenden dos sesiones a la semana de dos horas, mientras que los prácticos varían según el nivel, para el nivel uno dos sesiones de tres horas a la semana, para los niveles dos y tres una sesión de tres horas a la semana.

Dada la problemática educativa específica para la Ciencia Química, la pertinencia de realizar investigaciones orientadas a reconocer el desempeño de estudiantes universitarios frente a temáticas de formación científica, ahondando en características específicas como en nuestro caso la implementación del lenguaje químico, ayudan a otros profesores en su tarea formativa y de planificación para el aula. Un tópico particular como son los mecanismos de adición nucleofílica de compuestos

carbonílicos son el punto de reunión para indagar su significado, por un grupo de estudiantes al resolver problemas de lápiz y papel mediante una metodología que se estructura por las teorías de Aprendizaje Significativo y Significativo Crítico en un estudio de casos. El propósito de describir cómo evoluciona la implementación del lenguaje químico a lo largo del proceso permitirá reconocer el tipo de aprendizaje alcanzado por cada uno de los estudiantes intervenidos.

Tabla 1.2 Dedicación horaria para los primeros tres niveles de estudiantes de química de la Universidad de Antioquia

Nivel	Curso	Horas Teóricas semestre	Horas Prácticas semestre
I	Soluciones y estequiometría	64	
I	Técnicas de Laboratorio Químico		96
II	Estructura y Enlace Químico	64	
II	Cinética y Equilibrio Químico	64	
II	Laboratorio de Cinética y Equilibrio Químico		48
III	Separaciones Químicas	48	32
III	Química Inorgánica I	64	
III	Laboratorio Química Inorgánica I		48
III	Química Analítica I	64	
III	Laboratorio Química Analítica I		48

2.6 Contenidos de los capítulos

El Capítulo 2 trata sobre la *revisión bibliográfica* realizada. Comienza con una discusión sobre un diagnóstico de la enseñanza de la Química y su futuro, continúa con una revisión de artículos relacionados con la resolución de problemas en Química y otros más particulares de la Química Orgánica, y termina con una síntesis de la revisión bibliográfica.

El Capítulo 3 se dedica a los *fundamentos teóricos* que dirigen el trabajo. En primer lugar, se destacan algunos aspectos importantes de la teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel y la teoría de Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira. Después se presenta un enfoque histórico sobre la estructura lógica de la Ciencia Química, y continúa con una mirada del lenguaje y su mediación en la enseñanza, con énfasis en el lenguaje químico, su uso e implicaciones. Finaliza con la metodología de resolución de problemas y su implementación en la investigación.

En el Capítulo 4, referente al *marco metodológico*, se presenta la metodología cualitativa descriptiva bajo un enfoque etnográfico de estudio de casos en la modalidad de observación participante. Se incluye una justificación de la opción metodológica, se describe el contexto del centro escolar, contexto curricular y contexto pedagógico de la investigación, los estudiantes (casos) participantes en la misma, los instrumentos de recolección de registros y el procedimiento de análisis.

En el Capítulo 5 se describe la propuesta de *intervención didáctica* llevada a cabo con los estudiantes; se ha estructurado en varios apartados: las etapas en el proceso de desarrollo de las clases, los contenidos impartidos, las técnicas recomendadas en la resolución de problemas y la descripción de un conjunto de actividades transversales para favorecer la asimilación de conceptos, como son: la construcción de modelos moleculares, la interacción con juegos (Sudoku de grupos funcionales y Quimino) y una adaptación del libro de texto *Pushing Electrons*. A partir de las actividades anteriores se pretende analizar el desempeño del grupo de estudiantes seleccionados e indagar sobre su proceso de apropiación del lenguaje químico.

El Capítulo 6 presenta el *análisis* realizado y los *resultados* obtenidos. Contiene la intervención de la indagación preliminar al curso de Química Orgánica Uno, la selección de los casos, un acercamiento al entorno educativo de cada estudiante, las primeras inferencias sobre el avance de la implementación del lenguaje químico, el desarrollo de un diario semiestructurado, la intervención en resolución de problemas, y por último la elaboración y discusión de mapas conceptuales.

El Capítulo 7 describen las *conclusiones* e informan las *implicaciones y recomendaciones*, que el autor establece para contenido de la tesis.

El Capítulo 8 presenta las *Referencias Bibliográficas* como un compendio de la revisión de recursos documentados considerados fundamentales para la investigación.

Finalmente, el Capítulo 9 *Anexos*, recoge un conjunto de actividades y documentos que pueden ayudar al lector a una mejor comprensión del presente texto.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introducción

La revisión bibliográfica analizada comprende el periodo 1987-2019, aunque también se referencia algunos trabajos anteriores. Se presenta una variada e interesante descripción de investigaciones, llevadas a cabo en el aula de clase y relacionadas con los conceptos de interés en el presente proyecto. Las fuentes bibliográficas consultadas incluyen la revisión general de trabajos publicados en diferentes revistas entre las cuales se destacan las siguientes, especializadas en la enseñanza de la química y las ciencias: Journal of Chemical Education, Chemistry Education Research and Practice, Enseñanza de las Ciencias, Journal of Research in Science Teaching, International Journal of Science Education, Educación Química, Revista electrónica de enseñanza de las ciencias, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos, Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias, Science & Education, Alambique Didáctica de las ciencias experimentales.

La estrategia de búsqueda incluyó algunas bases de datos como: Science Direct, DOAJ, Bibliotechnia, ACS, Knovel, SciFinder y posteriores revisiones de artículos citados de los trabajos más interesantes encontrados bien sea por palabras claves o autores relevantes para las temáticas a través de Google Scholar.

Se evidencia que la investigación educativa relacionada con la química constituye un periodo de tiempo corto, en la década de los ochenta son publicados algunos trabajos con el énfasis particular químico, y la mayor parte de las investigaciones asociadas con temas propios de la química general, y menos frecuente en comparación al número total están comprometidos con la química orgánica.

A continuación, se presenta una serie de apartados según su contribución al trabajo de investigación; comienza con un conjunto de referencias correspondientes a la enseñanza de la química en nuestros tiempos, después una recopilación de trabajos de investigación relacionados con la resolución de problemas en química, y luego un número de trabajos sobre la enseñanza de la química orgánica, para finalizar con una síntesis de la revisión de la literatura.

2.2 Enseñanza de la química

El presente apartado constituye un intento por reconocer el estado actual de cómo los investigadores ven el presente de la enseñanza de las ciencias, en particular de la química y un pequeño aporte de su devenir histórico a nivel mundial.

En la Conferencia anual de la *National Association of Research in Science Teaching* (NARST) de abril 2009, en California, USA, Darling (2009), menciona el cambio en las expectativas del aprendizaje de las ciencias naturales caracterizado por:

- Aptitud para comunicarse.
- Adaptabilidad para el cambio.
- Capacidad para trabajar en grupo.
- Preparación para resolver problemas;
- Aptitud para analizar y conceptualizar.
- Capacidad para reflexionar y mejorar el desempeño.
- Aptitud para autoadministrarse.
- Capacidad para crear, innovar y criticar.
- Aptitud para involucrarse en aprender cosas nuevas.
- Capacidad para cruzar las fronteras de los especialistas.

Este listado muestra una clasificación de habilidades y tipologías que poseen los estudiantes para conseguir un buen desempeño en sus actividades y alcanzar los logros esperados en una adecuada formación científica. Estos criterios son muestra de un enfoque de educación moderno, pero parecieran ser generales en cuanto al aprendizaje de las ciencias. ¿Qué se debería decir de la enseñanza de la química? Algunos autores proponen por separado ideas para dar respuesta a este interrogante, por ejemplo, Garritz y Chamizo (1994) proponen un decálogo donde proporcionan lo que ellos llaman los paradigmas más valiosos para la enseñanza de la química, que incluye además desde la educación básica hasta la superior fraseado en temas de didáctica: Química de frontera, Analogías, Incertidumbre, Indagación, Modelos y modelaje, Naturaleza, historia y filosofía de la química, Competencia, Riesgo, Tecnologías de la comunicación y la información y Afectividad: algo clave para la enseñanza.

Por su parte Galagovsky (2007), también menciona una serie de características que debería tener la didáctica de la química, con el fin de favorecer la enseñanza y el

aprendizaje, como: las prácticas de laboratorio, la evaluación en conjunto a sus niveles de exigencia y la capacitación docente centrada en los contenidos disciplinares. En concordancia, reitera que estamos inmersos en un constante desarrollo disciplinar, que necesariamente debe estar acompañado de una insistente renovación educativa, crítica que los lapsos temporales, en materia de reformas educativas, están normalmente pactados a solo una década, desconociendo el desarrollo paralelo de las ciencias y la tecnología, y recomienda que se debiera propiciar una reforma a lo largo de los próximos 50 años.

Señala que la Didáctica de la Química, como campo joven de investigación, debe:

- Investigar sobre las problemáticas referidas a la enseñanza, al aprendizaje y a la diferencia real que existe entre la química enseñada y la química que se debe enseñar en la escuela.
- Hacer aportes para renovar la concepción sobre qué debería significar enseñar química en la escuela media, tendientes a mejorar la percepción pública de esta disciplina.
- Hacer propuestas concretas de concientización, articulación y comunicación entre los actores responsables de la enseñanza de la química en diferentes niveles educativos.
- Hacer esfuerzos por revalorizar la tecnología química como contenido escolar.
- Acompañar propuestas de enseñanza de contenidos –sean éstos básicos o de última generación— con reflexiones que ayuden a convertirlos en insumos para aprendizajes significativos y sustentados.
- Favorecer que la enseñanza de la química sea un vehículo para estimular en los estudiantes la autoconfianza en sus capacidades cognitivas y en sus cualidades creativas; en desarrollar estrategias positivas de trabajo en equipo y de comunicación; y en generar placer por satisfacer la curiosidad innata de la naturaleza humana. (ibíd., 2007, p. 10)

Tyack y Cuban (1995), en sus investigaciones sobre el desarrollo de diferentes reformas educacionales en Estados Unidos mencionan que “sería excepcional una reforma que funcionara o persistiera de acuerdo a lo planeado. Aún reformas de larga

duración no son estáticas, sino que evolucionan en forma frecuentemente no anticipada por quienes las propusieron”(p. 18).

Galagovsky (2005) se pregunta “qué, cómo, cuánto y para quiénes enseñar” (p. 8), en función del currículo de la química preuniversitaria. Esta investigación, sustentada por otros autores, reconoce de nuevo las dificultades inherentes a la elaboración de currículos en química, se preocupa por el bajo interés que tienen los estudiantes por aprender química, además del bajo número que pretende ingresar a carreras con altos contenidos en la disciplina química, incluso a nivel mundial. Señala que solo una aptitud para el cambio será lograda en conjunto por todas las organizaciones y grupos, de las cuales, depende la concientización de la formación química como indicador de desarrollo para un país.

Si bien se menciona que los docentes profesamos a nuestros estudiantes frases como “todo es química” “química hay en todas partes” (Ibíd., p.10), las personas temen incluso a la palabra química, puesto que está relacionada con la contaminación, las sustancias liberadas en el aire y por aguas industriales, al ser nocivas para el ambiente, incluso dudan cuando se menciona en avisos publicitarios “*productos sin compuestos químicos*”. Es esta mitificación social la que contribuye, en parte, a la imagen negativa que posee esta noble ciencia y, por lo tanto, a su aceptación.

Según Bucat (citado por Galagovsky (2005), es necesario abrir nuevas líneas de investigación en el Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) (Pedagogical Content Knowledge, PCK), que se centren en las dificultades propias del aprendizaje de cada contenido disciplinar y en las formas alternativas de enseñanza, posibles de aplicar a diferentes grupos de alumnos.

De Jong (1996) rescata una premisa importante en el planteamiento de los contenidos actuales para los diseños curriculares y en la participación del alumno; en ella expresa:

No hay duda de que es necesario promover un análisis crítico del contenido y estructura de los temas actuales en las clases de química. Los conocimientos expertos (del profesor) sobre la química no son una base suficiente para la reconstrucción de los temas a enseñar. Tal reconstrucción niega la importancia y el papel del conocimiento del (alumno) principiante en el proceso de cambio conceptual (p. 285).

Por su parte Silberman (1981), realizó un estudio con una muestra de 222 estudiantes sobre las dificultades que tuvieron en la resolución de problemas químicos y sobre las sugerencias o propuestas de mejora que señalan los propios estudiantes para tratar de superarlas. En la tabla 2.1 se presenta un breve resumen.

Muchas de estas dificultades nos son familiares en las experiencias educativas, pero es ventajoso poder escucharlo directamente de los estudiantes, recordando que son la razón de ser de cualquier proyecto educativo. Más adelante, se propone una reflexión más concienzuda acerca de los dos ítems subrayados en la tabla 2.1, puesto que ellos predisponen la razón de este trabajo al reiterar simultáneamente, como dificultad y como propuesta de mejora por los estudiantes, la interpretación de los enunciados en el momento de resolver problemas.

Tabla 2.1 Clasificación de las dificultades encontradas al resolver problemas químicos y las propuestas de mejoras recomendadas por 222 estudiantes.

Ranking de las dificultades encontradas al resolver problemas	Ranking de las propuestas de mejora
No dedicar suficiente estudio y práctica	<u>Mayor énfasis en la lectura de problemas</u>
<u>Problemas con contenidos abstractos</u>	Pocos problemas en las secciones de trabajo
Falta de incentivo y motivación	<u>Problemas propuestos para fuera de clase</u>
Pobres habilidades de estudio	Secciones tutoriales
Tiempo inadecuado	Notas claves
La química posee una dificultad inherente	Grabaciones tutoriales
Enseñanza inadecuada	Pequeñas lecturas de tópicos especiales
<u>Pobre comprensión lectora</u>	<u>Mayor número de materiales en el curso</u>
Instrucción impersonal	Preexámenes sin calificación
Pobres habilidades matemáticas	Mejorar las relaciones personales con los instructores
Textos y materiales del curso inadecuados	Más estudio y practica personal
Inadecuadas facilidades de estudio en el campus	Acudir a las secciones tutoriales

Tomado de Silberman (1981)

Izquierdo (2004) concuerda con los demás autores acerca de la problemática de la impopularidad de la química,

La química pierde público, sus alumnos fracasan; se ha convertido para muchos en el paradigma de lo incomprensible y de lo peligroso.

(...) a pesar de los problemas, ahora se reclama formación química para toda la población; parece difícil que una química en crisis frente a su audiencia de siempre pueda conquistar ahora una nueva (p. 115).

Con una mayor consciencia de la problemática y además de reflexionar sobre cómo puede concebirse una “*química para todos*”, identificar obstáculos que impiden la comprensión de los principales conceptos químicos y proponer nuevos recursos para la enseñanza que surgen al margen de las aulas, Izquierdo adelanta una discusión de los modelos que diferencian la química de otras ciencias. Enfatiza entre la química y la física, las características llamadas *dimensiones de la cognición* [(pensar, (teorías), expresar (lenguajes) y actuar (experiencias)] en una relación cíclica con un objetivo, *la finalidad*. Invita a la creación de nuevos currículos, reitera que la disciplina es para el discípulo, y al final muestra su propuesta denominada “*El autor racional y razonable: contextualización y modelización*”.

El autor sugiere los siguientes pasos a seguir en un proceso de enseñanza:

- Escoger un fenómeno relevante y relacionarlo con otros.
- Generar la necesidad de intervención en ellos.
- Dar tiempo al alumnado para la apropiación del problema (darse cuenta de las diferencias y semejanzas, de lo que saben y de lo que no saben; introducir entidades para dar sentido a lo que pasa) y para elaborar buenas preguntas (aquellas que invitan a actuar porque se formulan en el contexto adecuado y pueden recibir una explicación).
- Plantear hipótesis que den lugar a buenas argumentaciones y válidas para el conjunto de hechos.
- Elaborar argumentos que justifiquen los resultados de la intervención mediante las nuevas entidades teóricas. (ibíd. p. 132)

Por último, Stocklmayer y Gilbert (2002) mencionan, pese a que la mayoría de las decisiones de las sociedades humanas están basadas en ideas derivadas de la ciencia y de sus aplicaciones tecnológicas, es desesperante darse cuenta que la llamada

alfabetización científico-tecnológica se enfrenta con una serie de desafíos, eventualmente amenazas, en todo el mundo. “Los países desarrollados saben que la falta de alfabetización en ciencia y tecnología podrá actuar como un cuello de botella de sus desarrollos en las próximas décadas, por cuanto la población educada en este sentido es la fuente de donde surgirán los recursos humanos altamente calificados de la Sociedad del Conocimiento” (Galagovsky, 2005, p. 9).

Es necesaria la confrontación de nuestras ideas actuales con la historia de la investigación en la educación química. Se escucha al unísono la misma voz que reclama un cambio en la forma del hacer la enseñanza de la química, no se desconoce que los cambios antiguos han sido necesarios, para así reconocer las falencias que tal vez nunca dejaremos de tener, pero esa voz recomienda un pensar diferente frente a las necesidades de nuestros discípulos, ¿por qué los profesores decimos que amamos las ciencias? y nuestros alumnos son cada vez menos; ese amor que profesamos hacia nuestro quehacer diario es un sinónimo de que hemos encontrado un encanto maravilloso al comprender los fenómenos naturales, debemos ser capaces de hacer de nuevo que nuestros estudiantes se sorprendan al aprender, es algo tan gratificante que una vez lo hemos probado, nos ha transformado en adictos al conocimiento, debemos de esta forma ayudar a otros a encontrar su adicción.

2.3 Artículos relacionados con la investigación

2.3.1 Resolución de problemas en Química

La resolución de problemas desde hace más de veinte años ha aportado gran cantidad de trabajos que se enfocan a discernir esta problemática, ya sean denominados los enfoques como problemas de lápiz y papel, aprendizaje basado en problemas, problemas de carácter experimental u otros. El objetivo parece ser el mismo, enfrentar al estudiante a una situación donde no se conoce a primera instancia su solución, y es entonces donde su estructura cognitiva mediada por el lenguaje y su experiencia personal entra en juego para dar solución a dicha tarea, que involucra la transformación del conocimiento adquirido de un respectivo tema.

Acerca de investigaciones publicadas sobre la resolución de problemas, se ha decidido tomar aquellas que tienen una incidencia directa con el propósito de esta investigación. Los trabajos en el área de química serán los que susciten más atención,

para lograr extraer la mayor cantidad de referentes y enfoques a nivel educativo y, que al final, han servido como base del desarrollo del presente estudio.

La comprensión inicial del enunciado del problema es considerada indispensable en todas las propuestas metodológicas que ofrece la investigación educativa. Por lo tanto, poder rastrearlos permiten identificar las primeras luces en el planteamiento metodológico.

Gómez, Pozo y Sanz (1995) proponen: i) comparar las representaciones de la ley de la conservación de la materia en estudiantes que poseen diferentes años de instrucción en química, ii) analizar cómo el contexto en que un problema es propuesto afecta la activación de concepciones, iii) analizar la consistencia en las concepciones alternativas dentro de contenidos de acuerdo con su nivel de instrucción y, por último, iv) analizar la tarea propuesta. La participación en la investigación fue de 120 estudiantes organizados en 6 grupos, de los cuales 2 eran de primer nivel universitario y los demás de preparatoria.

La metodología incluye dos pruebas de lápiz y papel sobre la ley de la conservación de la materia, una de las cuales propone situaciones del ámbito académico y la otra del día a día, cada pregunta ofrece 5 opciones de respuesta relacionadas con la categorización de concepciones alternativas. El análisis de los resultados se realiza estadísticamente. Los resultados muestran que las variables edad y tiempo de instrucción tuvieron un efecto importante en los alumnos, la comprensión aumenta tanto con la edad (cuando grupos de diferentes edades son comparados) como con la instrucción (comparando estudiantes de la misma edad y diferente tiempo de instrucción). Las diferencias causadas por las instrucciones fueron menores de lo que los estudios en novatos y especialistas pudieran prever. En términos generales, los problemas presentados en situaciones del día a día mostraron ser más fáciles de resolver que los de contexto académico, aclarando que en química eso no es siempre la regla. Los conceptos físicos mostraron ser más fácilmente entendidos que los conceptos químicos. La generación de estructuras mentales más consistentes está relacionada con una enseñanza reflexiva, lo que implica más estrategias para analizar problemas científicos.

Staver y Lumpe (1995) investigan cómo estudiantes universitarios definen el concepto de mol, cómo explican la identidad numérica entre la masa atómica, masa

molecular y masa molar, si hay alguna relación entre los conceptos anteriores y, por último, si esta relación se aplica en la resolución de problemas. El estudio utiliza dos grupos de intervención, el primero constituido por 48 estudiantes de primer año universitario del área de Ciencias e Ingeniería con buen desempeño en Matemáticas y Química, y el segundo grupo por 12 estudiantes de primer año universitario del área de Ciencias e Ingeniería con bajo desempeño en Matemáticas y poco o ningún conocimiento en Química. La metodología consta de dos etapas, la primera de problemas de lápiz y papel, y la segunda de protocolos verbales. Los resultados apuntan a concepciones equivocadas en cuanto a los conceptos químicos, como la relación numérica entre magnitudes y el concepto de mol, la ausencia de relación entre el valor de la masa molar y su significado con relación al número de partículas, referido al desempeño en la resolución de problemas. Los autores sugieren que los profesores estén atentos para desarrollar habilidades generales de dominio específico, puesto que los estudiantes usan el conocimiento en formas poco funcionales para resolver problemas.

Solaz, Sanjosé y Vidal (1995), realizaron un trabajo donde pretendían analizar la influencia que el conocimiento previo y el conocimiento conceptual adquirido por la instrucción, tienen en la resolución de problemas, para el tema de modelos atómicos. Los alumnos conformaron un primer grupo de 69 personas de alto conocimiento previo, y un segundo de 67 personas de bajo conocimiento previo, todos estudiantes con un promedio de edad de 15,3 años. El primer grupo ya había estudiado el tema, aunque ambos utilizaron el mismo texto de estudio, todos realizaron los mismos ejercicios y problemas abiertos, para luego ser analizados por una herramienta estadística. Los resultados mencionan que una adecuada resolución de problemas depende entre otras cosas de la existencia de un conocimiento conceptual apropiado. El conocimiento procedimental de un algoritmo es condición necesaria, pero no suficiente para la comprensión apropiada y la aplicación de los conceptos.

Quílez y Solaz (1995), estudian los principios, estrategias y procedimientos que profesores y estudiantes usan para resolver algunas preguntas y problemas sobre equilibrio químico. Los grupos conformados para la investigación corresponden a 170 estudiantes universitarios de primer año, 23 profesores de enseñanza media y 17 profesores universitarios. En la metodología todos los participantes responden un cuestionario con problemas a ser analizados estadísticamente. Los resultados indican que estudiantes y profesores cometen los mismos errores, principalmente en la comprensión del principio de Le Châtelier. Con lo cual, las explicaciones de los

profesores en gran medida influyen en las concepciones de los alumnos. Por otro lado, los profesores deberían revisar sus metodologías, caracterizadas por procedimientos mecánicos y uso de algoritmos, no considerando un análisis previo del problema, lo que dificulta un aprendizaje significativo de conceptos. Finalmente se comenta que los profesores no consultan investigaciones sobre enseñanza y aprendizaje.

Niaz (1995) investiga sobre el grado en que los estudiantes comprenden los conceptos asociados al equilibrio químico, basados en problemas que requieren conocimiento conceptual, comparando el desempeño de problemas que requieren comprensión de conceptos y problemas de estrategias de solución algorítmica. El grupo participante estaba formado por 78 estudiantes inscritos en el primer curso universitario de química, y les proponen 11 problemas basados en diferentes aspectos relacionados con equilibrio químico, pidiéndoles que justificaran las respuestas. Los resultados indican que a diferencia de lo que mayoritariamente se encuentra en la literatura, la habilidad de resolver problemas mediante algoritmos conduce a una pobre comprensión conceptual; indicando que, la comprensión de problemas orientados a respuesta cuantitativa precede a la de problemas con interpretación cualitativa.

Oñorbe y Sánchez (1996 a,b), estudian en un primer trabajo la detección de las ideas previas que poseen los alumnos y las dificultades al resolver problemas de física y química, y en el segundo comparan las diferencias entre lo que piensan los alumnos y los profesores en cuanto a la resolución de problemas. La muestra participante constituida por 419 alumnos y 131 profesores de educación básica y media participa de un cuestionario de 30 ítems con preguntas diferenciadas. Los resultados obtenidos expresan que: i) los alumnos consideran los problemas más difíciles (70%) que la teoría (20%), ii) los procedimientos de resolución y la comprensión de los enunciados son considerados los factores de mayor complejidad, vinculados a: la falta de trabajo e interés y de confianza en sí mismos en la comprensión del enunciado, y a la enseñanza con excesiva exigencia en los problemas. Los profesores concuerdan que el índice de fracaso en resolución de problemas es mayor al 50%, y eligen la teoría como la principal responsable del fracaso, indicando carencia de conocimientos procedimentales para aplicar la teoría a la estrategia de resolución, y reiteran la dificultad en comprender los enunciados.

Lee y Fensham (1996), procuran investigar las características del comportamiento de profesores y sus alumnos cuando intentan resolver problemas de electroquímica y

usar estas características para generar una estrategia general. La participación fue de 10 profesores y 33 estudiantes de educación media en Australia. El análisis de los datos recogidos a través de protocolos verbales cuando los sujetos resolvían tres problemas de lápiz y papel, dan lugar a detectar los siguientes procesos:

1. Comprensión del enunciado del problema
2. Identificación de las metas y submetas.
3. Selección de la información.
4. Búsqueda de reglas o datos en la memoria.
5. Obtención de metas o submetas relacionadas con los procesos cuatro y cinco.
6. Verificación del camino de solución a una respuesta.

Huddle y Pillay (1996), se interesan en investigar la habilidad de los estudiantes en resolver problemas que involucran conceptos de estequiometría, con un grupo de 535 estudiantes universitarios matriculados en el curso de Química I. Después del análisis, los resultados sugieren que, a pesar de tener desempeños moderados para la aprobación, los estudiantes demostraron una incomprensión de los conceptos fundamentales, con muy poco desenvolvimiento de los temas tratados. Se sugiere la optimización del contenido, con reducción en todos los niveles y trabajo en pequeños grupos de alumnos.

Mason, Selld y Crawle (1997), proponen identificar y describir las diferencias entre los métodos usados por profesores y alumnos en la resolución de problemas conceptuales y algorítmicos para un curso de química general. La recolección de registros se realizó mediante protocolos verbales donde participaron 20 estudiantes y dos profesores como expertos en el tema, los alumnos se clasificaron en cuatro categorías, según Nakhllh (1993), alto algorítmico/alto conceptual, alto algorítmico/bajo conceptual, bajo algorítmico/alto conceptual, bajo algorítmico/ bajo conceptual.

Los resultados indican que a medida que hay un desarrollo en la resolución de problemas, menos tiempo y menos transiciones entre esquemas se requieren; los problemas algorítmicos demandan más tiempo que los conceptuales, pero frecuentemente los alumnos resuelven más problemas algorítmicos que los conceptuales relacionados; al final los problemas conceptuales dependen básicamente del conocimiento específico, y en cuanto a los problemas algorítmicos pueden ser resueltos por ensayo y error.

Los estudiantes en la categoría ‘alto algorítmico / alto conceptual’, demuestran más interés en entender los conceptos que en calcular soluciones. Los resultados muestran que es muy extraño encontrar estudiantes clasificados como ‘bajo algorítmico / alto conceptual’, por lo cual los autores recomiendan a los profesores dedicar más tiempo perfeccionando una base conceptual, que resolviendo estrategias algorítmicas.

Heyworth (1999), pretende verificar y comparar el conocimiento procedimental (estrategias usadas y representaciones de problemas) y el conocimiento conceptual de alumnos clasificados como especialistas y novatos en el área de volumetría en química analítica; los estudiantes participantes compuestos por dos grupos, seis novatos y seis especialistas y la metodología utilizada fue protocolos verbales y preguntas de verificación. Los resultados evidencian que ambos grupos manifiestan una representación inicial del problema identificando palabras claves; los estudiantes especialistas emplean un procedimiento cualitativo general como estrategia, construyendo una representación matemática y una solución numérica, y los novatos después de identificar las palabras claves emplean una estrategia de análisis de “medio y fin” guiada por la búsqueda de fórmulas. El conocimiento conceptual de los especialistas fue coherente e integrado con la representación matemática, lo contrario ocurrió con los novatos. Se evidenciaron diferencias en tres aspectos, comprensión y conceptualización, estrategias en la resolución de problemas y uso de una representación cualitativa. Al final, el autor recomienda para alcanzar una comprensión conceptual, considerar las estrategias usadas por los estudiantes y promover la práctica en resolución de problemas.

A partir de un profundo estudio bibliográfico, Gangoso (1999) enfoca la investigación en resolución de problemas desde el punto de vista de las teorías psicológicas subyacentes y de factores explicativos, como la naturaleza de la tarea, la persona que resuelve y el entorno con el objetivo de apoyar futuras investigaciones en este campo.

Voska y Heikkinen (2000), realizaron una investigación relacionada con las siguientes cuestiones, a) en qué medida un test de lápiz y papel puede ser confiable al punto de identificar concepciones de los estudiantes acerca del principio de Le Châtelier, b) Qué concepciones particulares poseen los estudiantes sobre la aplicación del principio de Le Châtelier en situación de resolución de problemas, c) ¿qué proporción de estudiantes cursando química general poseen estas concepciones? Un

grupo de 102 estudiantes con edades entre 18 y 20 años participaron de las intervenciones, las cuales se realizaron en un periodo de seis semanas sobre los temas de equilibrio químico y el principio de Le Châtelier.

Un test de identificación de conceptos fue suministrado después de las seis semanas, de allí se seleccionaron nueve estudiantes para entrevistas que involucraban resolución de problemas, los resultados se analizaron cualitativa y cuantitativamente. Estos sugieren que un formato de problema abierto sería más útil y adecuado para evaluar el raciocinio de los estudiantes a diferencia del formato de selección múltiple. Por un lado, las pruebas de selección múltiple permiten a los profesores identifiquen una amplitud de concepciones equivocadas y, por otro lado, estas fallan por detectar menos concepciones de las que los estudiantes realmente poseen.

En contraste, las pruebas combinadas de selección múltiple y la argumentación de la respuesta permiten a los profesores explorar cada nivel de raciocinio de los estudiantes y las concepciones subyacentes, además también ocurre la desventaja en el profesor pues muchas veces tendría que interpretar las razones de los estudiantes que no expresan claramente sus raciocinios. Los resultados corroboran otros estudios donde los estudiantes dan respuestas correctas usando raciocinio errado, reiterando que los test de selección múltiple no son adecuados para investigar la comprensión de los estudiantes.

Reid y Yang (2002), exponen que la mayor parte de la resolución de problemas en química tiende a ser de naturaleza algorítmica, mientras que los problemas cotidianos tienden a ser abiertos. Además, intentan explorar los factores que pueden ser importantes para la resolución exitosa de problema; se analiza el papel de la memoria a largo plazo, no solo en términos de lo que se conoce, sino de cómo se adquirió ese conocimiento. Señalan la gran importancia de las limitaciones del espacio de memoria de trabajo y la importancia de la confianza que proviene de la experiencia. El texto argumenta que la solución de problemas abiertos es extremadamente importante en la educación, sin hablar de la oportunidad de ofrecer a los aprendices una experiencia de un trabajo en equipo.

Azcue et al. (2003), proponen con su trabajo analizar las dificultades que presentan los alumnos para resolver situaciones problemáticas relacionadas con los conceptos: número de Avogadro, mol, cantidad de sustancia, masa molar, cálculos estequiométricos en química general. Además, consideran obtener datos en cuanto a los

obstáculos epistemológicos presentes en tres fuentes: naturaleza del problema, características del estudiante que resuelve el problema y características del entorno de aprendizaje; también se proponen, determinar las habilidades procedimentales fundamentales y básicas para resolver problemas de química general. Al final elaboran algunas estrategias didácticas como: resúmenes, organizadores previos, preguntas y mapas conceptuales, habilidades de: asimilación, comunicación, búsqueda de la información, integran una propuesta metodológica de enseñanza y aprendizaje que permita mejorar el desempeño de los alumnos.

BouJaoude, Salloum y Abd-El-Khalick (2004), proponen comparar el desempeño de un grupo de estudiantes en problemas conceptuales y algorítmicos en química general, además de investigar las relaciones entre instrucción, raciocinio operacional formal y la capacidad mental con el desempeño en la resolución de problemas. Dos grupos de intervención se utilizaron en el estudio, 4 profesores con más de cuatro años de experiencia didáctica y 68 estudiantes de secundaria. Los profesores inicialmente fueron entrevistados para conocer el método con el cual usualmente trabajan, generalmente demostraciones de laboratorio, explicación y discurso, ejercicio y prácticas en resolución de problemas algorítmicos. Los estudiantes fueron sometidos a un grupo de pruebas durante dos semanas, en situaciones tipo examen, y las respuestas se discutieron posteriormente en clase. Se realizó un estudio estadístico para el análisis. Los resultados muestran que no hay una diferencia significativa entre las tres variables en el desempeño de problemas algorítmicos, mientras que para los problemas conceptuales hay diferencias significativas, por lo cual los estudiantes pueden resolver problemas algorítmicos sin entender conceptos químicos.

Modak (2004), comparten un estudio realizado a un grupo de estudiantes universitarios candidatos al título de profesores de química y biología, al realizar una serie de pruebas con preguntas de carácter cualitativo y luego se clasificaron según el grado de comprensión y análisis que hicieron de la situación problema. Los resultados evidenciaron que un porcentaje amplio de los estudiantes no conocen los aspectos conceptuales de los contenidos evaluados en la resolución de los problemas. Reiteran que muchos estudiantes, dos tercios en promedio, pueden resolver problemas numéricos, pero no los mismos problemas si son conceptuales, ratifican que se aprenden palabras pero no significados, aunque puedan resolver en principio correctamente problemas algorítmicos.

Merino y Herrero (2007), publican el estudio realizado a varios grupos de estudiantes en un periodo de tres años, denominado resolución de problemas experimentales, utilizan un estudio etnográfico de las actividades y comportamiento de los alumnos. Algunas conclusiones muestran que los estudiantes mejoran su participación en grupos pequeños de tres personas como máximo. El diseño propuesto permite decir que esta práctica mejora algunas dificultades sobre el desarrollo de actividades prácticas de tipo abierto, y por el tiempo de ejecución de la investigación se observa una regularidad en los trabajos de los estudiantes.

El trabajo de Solaz y Sanjosé (2007), se fundamenta en una correlación de varias características; inicialmente al grupo de estudiantes, intervenido a través de una prueba corta, se le clasifica según el grado de conocimientos previos que poseen en el tema de modelos atómicos, según sus respuestas se divide al grupo en dos subgrupos, donde a cada subgrupo se le suministra un cuarteto de enunciados propios de la teoría que contiene variaciones en la redacción, para posteriormente hacer un conjunto de seis preguntas donde solo una de ellas es de carácter logarítmico, con el objetivo de analizar la influencia de las variables instruccionales en el texto, es decir, los diferentes tipos de redacciones; su nivel de conceptos previos confluyen en la formación de los modelos mentales necesarios para la resolución de los seis problemas; al final se encuentra, después de un estudio cuantitativo, conclusiones a partir de gráficos donde se muestran las relaciones de interés.

Solaz y Sanjosé (2008), repiten su intencionalidad del año anterior. En la nueva indagación llevan a cabo un experimento para poner a prueba la teoría de modelos mentales de Johnson-Laird. Los estudiantes se clasifican según su conocimiento previo, deciden utilizar la construcción de mapas conceptuales, herramienta que resaltan como la más apropiada para identificar los conocimientos previos. Una vez clasificados los participantes, se les administra una prueba de resolución de problemas nuevamente sobre modelos atómicos.

Los resultados parecen confirmar la relación inversa entre el número de modelos mentales implicados en el problema y el porcentaje que lo resuelve correctamente. También comparten una lista de los modelos mentales a ser usados en cada uno de los problemas propuestos y se concluye que los estudiantes con mejores conocimientos previos no siempre resuelven significativamente mejor los problemas; en este caso, contrastando con el trabajo anterior (en Solaz y Sanjosé, 2007), las condiciones

señalaban que la instrucción suministrada a cada uno de los grupos era decisiva para lograr una adecuada resolución de problemas. La última conclusión aporta que se debe identificar los conceptos previos de los estudiantes en el diseño instruccional, acorde con la premisa más importante de la teoría de Aprendizaje Significativo de Ausubel.

En el artículo de Del Valle y Curotto (2008), denominado “La resolución de problemas como estrategia de enseñanza y aprendizaje” se presenta un estudio de casos donde se analiza la resolución de problemas en el aula de clase a través de observaciones y entrevistas, y realizan una triangulación como fuente de confiabilidad de las conclusiones establecidas. El tema tratado está basado en los conceptos de soluciones acuosas y pH. El 86% de los estudiantes participantes utilizan constantemente expresiones algorítmicas para llegar a las respuestas, mientras que solo un 14% de los estudiantes intentan explicar los acontecimientos basados en argumentos y explicaciones.

Noy (2008), en su trabajo “Aprendizaje significativo de conceptos de estequiometría Inorgánica a partir de una unidad didáctica basada en la resolución de problemas”, utiliza la resolución de problemas como base para la implementación de una unidad didáctica que pretenda potenciar el aprendizaje significativo de conceptos básicos de estequiometría. La investigación de carácter descriptivo utiliza un cuestionario inicial de identificación de conocimientos previos en química. El procedimiento metodológico termina con la aplicación y análisis para evaluar el aprendizaje significativo de conceptos químicos particulares. Los problemas son una herramienta que permite una interacción entre los conocimientos suministrados y las etapas que constituyen la unidad didáctica, de tal forma que el investigador puede constantemente monitorear el trabajo individual y colectivo; se logra un aprendizaje significativo de los conceptos básicos: masa molar, cantidad química, cantidad de partículas, mientras que los conceptos más complejos: relación estequiométrica, proporcionalidad, determinación de reactivo límite, aún presentan dificultades en su asimilación.

Narváez (2009), propone una investigación cuantitativa donde enfrenta a un grupo de estudiantes a diez problemas sobre disoluciones acuosas y analiza los cambios conceptuales adquiridos, con un pretest y un postest. El trabajo propuesto se resuelve colaborativamente en grupos de estudiantes pertenecientes al programa de Licenciatura en Ciencias Naturales. Al final se cuantifica el grado de resignificación conceptual y se

concluye sobre la calidad y las diferentes respuestas en la resolución de problemas para aprender significativamente la temática abordada, entre otros aspectos.

Surif, Hasniza y Fairuz (2014), en su estudio pretenden identificar el nivel de logros de estudiantes en la resolución de problemas químicos en temas variados de estequiometría, calorimetría y enlace químico en forma de algoritmos y problemas conceptuales y abiertos. Los objetivos implican identificar y comparar el nivel de logros en tres tipos de problemas. El estudio cuantitativo se realiza utilizando un diseño descriptivo. Una prueba de lápiz y papel como instrumento, a 248 estudiantes universitarios de segundo año, que fueron seleccionados al azar. Los datos obtenidos se analizan mediante el uso de software SPSS estadístico descriptivo.

Los resultados muestran que la mayoría de los estudiantes (96%) pueden resolver el problema algorítmico con éxito. Por otro lado, solo el 54% de los estudiantes pudieron responder las preguntas conceptuales y el 15% las conceptuales abiertas. La mayoría de los estudiantes no respondieron los problemas conceptuales y abiertos debido a su incapacidad para comprender los conceptos que subyacen a estos problemas. Los hallazgos de esta investigación muestran que se necesita hacer más esfuerzo para mejorar la comprensión conceptual de los estudiantes y las habilidades para resolver problemas en química.

2.3.2 Investigaciones asociadas a la enseñanza de la Química Orgánica

La selección de los siguientes trabajos corresponde a su relación con los tópicos de interés de la presente investigación, de tal forma que se encuentran ordenados cronológicamente lo cual da una ligera idea del enfoque asumido en cada período de tiempo. En la parte final de este subapartado se ubican los resultados de investigaciones donde la temática se relaciona directamente con los objetivos de nuestra investigación, lo que significó una coherencia reconfortante en cuanto a la pertinencia de la misma.

Bowen (1990), realiza un trabajo con un grupo de estudiantes de posgrado en un curso de síntesis orgánica; usan la metodología de pensar en voz alta mientras resuelven varios problemas. El análisis indicó que ellos usaron diferentes tipos de representaciones al resolver problemas. Los estudiantes realizaron las soluciones y las expresaron a través de siete sistemas: verbal, pictórico, metodológico, orientado a

principios, literario, orientado al laboratorio y económico. Más allá de los sistemas pictóricos y verbales, el sistema más utilizado fue de naturaleza metodológica: ellos creían que el propósito de la síntesis orgánica era aplicar las reglas en el orden correcto hasta que la tarea se resolviera. Los sujetos consideraron utilizar otros sistemas de representación si consideraban que su resultado era ambiguo. Lo que permite hacer una clasificación según la preponderancia del sistema utilizado.

Tsaparlis y Angelopoulos (2000) reportan una investigación donde pretenden demostrar la validez del modelo de Johnstone (1989). Los problemas elegidos corresponden al área de síntesis orgánica, con problemas diversos que involucran diferentes tipos de grupos funcionales. El nivel conceptual encontrado en los problemas es muy elevado en comparación a los mismos alcances que se pretenden lograr en el currículo de nuestro país (Colombia), puesto que el grupo de estudiantes participantes son de enseñanza media, dos grupos de 191 y 128 individuos con edades entre los 17 y 18 años.

Los problemas usados poseen un número variado de pasos y, consecuentemente, varía el número de procesos de pensamiento a ser activados para lograr la tarea. Los resultados demostraron: i) una eficacia del modelo de resolución de problemas sobre las condiciones de la investigación, ii) una significativa caída del desempeño cuando la demanda del número de pasos del problema excede la capacidad de memoria de trabajo del sujeto, iii) el contenido del problema asume más importancia en el caso de problemas nuevos, y iv) los sujetos no dependientes del contenido usan más la memoria de trabajo que los dependientes del contenido. Al final se concluye que resolver problemas es un proceso complicado que envuelve variables cognitivas más allá de las efectivas, y que el control de la demanda de pasos de los problemas puede facilitar el trabajo de los profesores en la instrucción de resolución de problemas.

Bodner y Domin (2000), proponen una combinación de técnicas que incluye notas de campo recolectadas en aulas operativas, entrevistas informales con estudiantes en un entorno tutorial y entrevistas estructuradas formales, las cuales se han aplicado para estudiar la resolución de problemas en química entre grupos que van desde estudiantes de primer año matriculados en química general a estudiantes de posgrado con una variedad de cursos que incluyen Química General, Orgánica, Inorgánica y Química Física. Independientemente del nivel de los estudiantes o el tema del contenido, han encontrado que una de las diferencias características entre un exitoso y

fracasado solucionador de problemas, es el número y tipo de representaciones usadas en el problema.

Entre los solucionadores de problemas exitosos, las representaciones con mejores resultados fueron las que se describen como simbólicas. Estas representaciones se caracterizaron por la dependencia de símbolos o ecuaciones altamente simbólicas que podrían incluir fragmentos de una frase u oración. Las representaciones más comunes construidas por los solucionadores de problemas fracasados fueron descritas como verbales, que se expresaban oralmente o por escrito, contenían oraciones o frases. Concluyen mencionando que el rendimiento de los alumnos en las tareas de resolución de problemas mejora cuando se usan representaciones por parte del profesor al resolver problemas en clase.

Garritz e Irazoque (2004) integran en su trabajo relativo a la enseñanza de la química de polímeros, el aprendizaje de conceptos y la construcción de modelos, la resolución de problemas, y los trabajos prácticos experimentales, que hasta hace algunos años eran tratados de forma separada en la literatura de la enseñanza de las ciencias. Los autores proponen analizar cada uno de estos tres enfoques en la búsqueda de su integración, aluden a una revisión bibliográfica sobre los temas de interés, donde se evidencia las ayudas que han existido entre la resolución de problemas, la praxis experimental, y el aprendizaje de conceptos y creación de modelos; posteriormente, a partir de ejemplos de situaciones problemáticas experimentales, concretamente tres casos de elaboración de polímeros, plantean posibles preguntas que concluyen con el aprendizaje de conceptos científicos y de aspectos procedimentales. La propuesta se presenta como referente de trabajo frente a las clases cotidianas de los primeros cursos, como el de Química Orgánica.

Los autores Garduño y Vierna (2005), en su artículo ‘Propuesta didáctica para el aprendizaje significativo de procesos redox de compuestos orgánicos’ proponen una evaluación para diagnosticar los conocimientos previos que poseen los alumnos con respecto a los conceptos asociados a las reacciones redox. Luego exponen cómo estos conocimientos se relacionan con nuevos conocimientos mediante un proceso de participación guiada para así identificar qué especies pueden sufrir una oxidación o reducción; también realizan una evaluación continua para identificar el logro de la integración de conocimientos.

Bhattacharyya y Bodner (2005), discuten sobre el formalismo en la representación del movimiento de flechas curvas; el grupo lo componen 14 estudiantes matriculados en un curso de Química Orgánica de primer ciclo de posgrado. Este artículo se enfoca en las soluciones de los estudiantes y discute las posibles limitaciones de sus estrategias. Los resultados indican que las flechas curvas utilizadas en el formalismo del movimiento de electrones no tienen ningún significado físico para los estudiantes, además cuando se les pidió que explicaran cada paso en el planteamiento del mecanismo, quedó claro que los participantes simplemente habían reproducido una secuencia memorizada de eventos. El estudio demostró que los estudiantes de química orgánica pueden producir respuestas correctas a las tareas del mecanismo sin tener una comprensión de los conceptos químicos.

Ferguson y Brothier (2008), informan los resultados de un estudio cualitativo de dieciséis estudiantes matriculados en un curso de química orgánica de segundo año para los programas de química e ingeniería química. El enfoque del estudio fue el uso por los estudiantes del formalismo de la notación de Robinson (movimiento de flechas en los mecanismos de reacción). El objetivo del estudio fue investigar cómo los estudiantes entendieron el formalismo del movimiento de flechas para la solución de siete problemas de química orgánica. El artículo discute cuatro tipos de barreras para la comprensión: incapacidad de recordar, incapacidad de aplicar o comprender, contenido poco entendido y barreras no relacionadas con el contenido específico; además los conceptos e ideas que aplican los estudiantes cuando usan este formalismo para resolver problemas y las implicaciones cuando usaron este formalismo de una manera mecánica sin sentido.

Stieff, Ryu, Dixon y Hegarty (2012), desarrollan un trabajo relacionado con investigar los componentes cognitivos subyacentes del razonamiento espacial y las estrategias que los estudiantes emplean para resolver problemas espaciales en Química Orgánica. El cual consideran crítico para razonar sobre relaciones espaciales en tres dimensiones y representar información espacial en diagramas. Mencionan que investigaciones previas sugieren que las diferencias individuales en capacidad visual-espacial predicen el éxito en resolución de problemas espaciales en química orgánica. En el trabajo, investigan las estrategias que utilizan los estudiantes para resolver problemas de química espacial y las relaciones entre la elección de estrategia, la capacidad espacial. Los resultados muestran que los estudiantes emplean estrategias múltiples que incluyen heurística y la construcción de diagramas en lugar de confiar

exclusivamente en el razonamiento de la imaginación. Ellos observan que la elección de la estrategia de los estudiantes es independiente de la capacidad visual-espacial, y que las mujeres emplean estrategias de manera diferente que los hombres después de la instrucción.

La investigación desarrollada por Grove, Cooper y Russh (2012a) se ha centrado principalmente en comprender el significado que los estudiantes asocian con las flechas curvas durante dos semestres académicos en un curso de Química Orgánica de segundo año. La investigación usa OrganicPad, un programa de dibujo de estructuras químicas en Tablet, para documentar la resolución de problemas de los estudiantes, donde pueden ser guardados todos los intentos de respuesta. Los resultados revelan una gran cantidad de estudiantes cerca del 80% de los investigados, simplemente predijeron el producto de reacción sin proporcionar un mecanismo para el proceso según lo solicitado; un 15-20% adicional de los estudiantes dibujaron sus flechas curvas solo después de predecir un producto para la reacción. Finalmente concluyen “creemos que estos resultados hablan claramente de la necesidad de una instrucción más extensa sobre mecanismos y capacitación en la mayoría de los cursos de química orgánica” (p. 872).

En una segunda investigación Grove et al. (2012b) comienzan discutiendo la conclusión más importante de su trabajo anterior, sobre la base de los resultados, supusieron que era probable que muchos estudiantes consideraran que el uso de la notación de flecha curva no era necesario para ayudarlos a predecir los productos del mecanismo, y terminan diciendo que para una disciplina como la Química Orgánica que pone un gran énfasis en el uso de la notación de flecha curva, los resultados fueron bastante sorprendentes y decepcionantes.

De lo anterior aparece una secuencia de preguntas importantes: ¿Los estudiantes que usan el razonamiento mecánico están mejor preparados para resolver los problemas que se les presentan durante el curso de nuestro estudio?, o en otras palabras, ¿los estudiantes que usan flechas y mecanismos curvos predicen el producto correcto en un mayor porcentaje?, ¿pudieron resolver problemas más difíciles que la mayoría de sus pares que no usaron mecanismos? La investigación, es un intento de responder a las preguntas anteriores: para determinar los beneficios, si los hubiera, que los estudiantes obtuvieron del uso de los mecanismos y la notación de flechas curva. El estudio se realizó con 399 estudiantes en una universidad de investigación intensiva ubicada en el sureste de los Estados Unidos, Los estudiantes se inscribieron en un curso de Química

Orgánica del cuarto semestre, 70% de los ellos pertenecían a las carreras de medicina, odontología, veterinaria o farmacia y el 30% restante eran en su mayoría carreras de ingeniería química, química y biología, con edades entre 19 y 22 años.

Los resultados muestran que a pesar de que estos estudiantes asistieron a tres secciones de clases diferentes impartidas por profesores distintos que utilizaron diferentes pruebas y métodos de enseñanza, no hubo diferencias en las tasas de éxito o el uso del mecanismo. Los resultados para las seis tareas más fáciles asignadas fueron bastante bajos, sin embargo, para los dos problemas más difíciles los estudiantes que implementan los mecanismos y la notación de flechas curvas obtuvieron puntuaciones significativamente más altas.

Bhattacharyya (2014), nuevamente publica un trabajo donde su interés es documentar las dificultades que encuentran los estudiantes de pregrado y graduados cuando intentan proponer mecanismos de reacción. Su trabajo sugiere la aparición de una imagen preliminar, pero coherente, de las estrategias y dificultades por las que pasan los estudiantes con el uso del empuje de electrones para resolver una variedad de problemas de Química Orgánica. También presenta dos factores que pueden subyacer a varias de las dificultades de los estudiantes, el primero con las reacciones y la reactividad, denominado Procedimiento de Metaanálisis, y el segundo describe un modelo de cómo los estudiantes abordan las tareas del mecanismo de reacción utilizando la técnica de flechas curvas. El documento concluye con una sección sobre las posibles implicaciones para la instrucción y un conjunto de preguntas de investigación que surgen de este análisis que aún no tienen respuesta.

Flynn y Featherstone (2017) realizaron un estudio donde exploraron los éxitos, las estrategias y la naturaleza de los errores de los alumnos de Química Orgánica I y II, utilizando la teoría del procesamiento de la información y la teoría del Aprendizaje Significativo como el contexto conceptual; además guían su investigación por las preguntas: ¿Cuáles son las tasas de éxito de los estudiantes para resolver las preguntas de lenguaje de química orgánica que involucran el uso e interpretación del formalismo de empuje de electrones? y ¿Qué tipos de estrategias y errores están usando y haciendo los estudiantes en esos tipos de preguntas?

Indican que la percepción de los estudiantes y el uso de símbolos y representaciones, dependen de sus asociaciones con el conocimiento existente, el

significado que atribuyen al lenguaje, la carga cognitiva asociada, entre otros factores. En principio afirman, que si los estudiantes son "fluidos" en el lenguaje de la química, deberían tener menores demandas de carga cognitiva y estarán en posición de analizar con mayor profundidad las reacciones químicas a tratar. Cada evaluación en los cursos de Química Orgánica I y II contenía preguntas alineadas con los resultados del aprendizaje, utilizando siempre reacciones que los estudiantes nunca habían estudiado en ese momento, de modo que el enfoque se centraba en interpretar el simbolismo y la representación química en lugar de recordar un tipo particular de reacción.

En este estudio, se investigaron los resultados de las pruebas, las estrategias y los errores de los estudiantes en dos tipos de preguntas de lenguaje químico orgánico: (1) dibujar las flechas curvas para el empuje de electrones, dados los reactivos y los productos de un paso de reacción y (2) dibujar los productos de reacción de un paso dados los reactivos y las flechas curvas de empuje de electrones de ese paso.

Finalmente, comentan que la gran mayoría de los estudiantes intentaron resolver cada pregunta y encontraron muy pocos errores revertidos o ilógicos. Las puntuaciones de los estudiantes fueron más altas en las preguntas de las flechas curvas que en las preguntas de los productos. Las preguntas con átomos implícitos o pasos intramoleculares se correlacionaron significativamente con puntuaciones más bajas, lo que significa barreras para el aprendizaje posterior de la química.

2.4 A modo de síntesis de la revisión de la literatura

Las consultas realizadas ofrecen una idea general de la existencia de dificultades en el aprendizaje de la química en el ámbito educativo. Así pues corresponde a la didáctica orientar el proceso de enseñanza, a pesar de que son más las reflexiones sobre las dificultades en el aprendizaje de muchos temas particulares en el área, que las propuestas sobre cómo superarlas. Es fundamental estructurar los cursos de Química en la escuela, como guiar el aprendizaje significativo de alumnos y alcanzar una interacción de la enseñanza y el aprendizaje con una postura constructivista. Para tal fin, la enseñanza y el aprendizaje deben estar acompañados de procesos de investigación, que ayuden a mejorar las dificultades señaladas.

Una de las opciones, la que se aborda en este trabajo, es la metodología en resolución de problemas la cual ha sido ampliamente estudiada. Cabe resaltar el gran beneficio que ha mostrado esta técnica trabajando de forma colaborativa con grupos pequeños de 2 o 3 alumnos. Algunos resultados de las investigaciones sugieren que un formato de problema abierto es más útil y adecuado para evaluar el raciocinio de los estudiantes a diferencia del formato de selección múltiple, el cual no es recomendado para investigar la comprensión.

Otra característica encontrada hace mención a que el rendimiento de los alumnos en las tareas de resolución de problemas mejora cuando son usadas representaciones por parte del profesor al resolver problemas en clase, lo cual por experiencia del investigador funciona como un efecto espejo, es decir, los estudiantes aprenden a realizar buenas representaciones y a ser cuidadosos con la notación simbólica del lenguaje químico cuando es una práctica habitual del profesor.

La afirmación anterior puede corresponder con los resultados obtenidos por Quílez y Solaz (1995), como producto de sus investigaciones, los autores indican que estudiantes y profesores cometen los mismos errores a la hora de resolver problemas químicos; las concepciones de los alumnos son dependientes de las concepciones que media con el profesor en sus clases, por lo cual el dominio conceptual del profesor y su conciencia en la representación es importante a la hora de constatar el dominio de sus estudiantes. Este aspecto es completamente pertinente en el planteamiento metodológico de la tesis con su enfoque constructivista donde se pretende potenciar el aprendizaje significativo.

Así mismo, otros factores han sido señalados como importantes en la temática de resolución de problemas, se destacan algunas variables como: edad de los estudiantes y tiempo de instrucción en los cursos de química, al parecer estos tienen un efecto en los alumnos, de tal forma que una mejora de la comprensión aumenta tanto con la edad del alumno como con el tiempo que los estudiantes dedican al trabajo de aula, lo que indica nuevamente una recomendación por resolver problemas.

Desde los aportes de los diferentes autores, se puede asumir que una adecuada resolución de problemas depende, entre otras cosas, de la existencia de un conocimiento conceptual apropiado y permite reconocer que el conocimiento procedimental de un algoritmo es una condición, pero no es suficiente para una comprensión apropiada de

los conceptos y una adecuada aplicación de los mismos. Muchos de los trabajos concuerdan que la comprensión de los enunciados es uno de los factores de mayor complejidad para la resolución de problemas, lo que ha llevado en esta tesis al planteamiento de una pregunta de investigación, la cual debe responderse bajo los lineamientos planteados en el apartado metodológico. Se hace importante también reconocer los procedimientos de resolución como otro factor de desempeño de los estudiantes, pues pueden ofrecer información valiosa sobre los conceptos utilizados en el mismo proceso de resolución, los cuáles son importantes para los análisis y resultados.

Retomando las características particulares de los problemas algorítmicos, se encuentra que estos pueden ser resueltos por fallo y error, dejando así una brecha entre el dominio conceptual de un determinado tema, a simplemente concordar con las respuestas puntuales necesarias para aprobar un examen particular. Otra característica se refiere a que los problemas algorítmicos requieren más tiempo en ser resueltos que los conceptuales, se puede explicar por el hecho de que los conceptos y sus relaciones generan una red entramada de significados, los cuales son utilizados selectivamente en nuevas situaciones permitiendo ser recursivos y deliberadamente generando nuevas relaciones conceptuales.

Como lo hemos previsto en el capítulo uno, se comenta como idea general que es muy extraño encontrar estudiantes clasificados con un bajo nivel de tratamiento algorítmico y un alto nivel de tratamiento conceptual en su predisposición a la resolución de problemas, lo que lleva a recomendar a los profesores que empleen más tiempo perfeccionando la base conceptual que utilizar estrategias algorítmicas. Para nuestro caso la temática en reactividad química ofrece unas características donde son escasos los procedimientos algorítmicos y demandan una alta base conceptual, permitiendo centrar la atención en las relaciones conceptuales que ofrecen los estudiantes.

De igual forma, las investigaciones realizadas por Quílez y Solaz (1995), con grupos de profesores, recomiendan que éstos deberían revisar sus metodologías, caracterizadas por el uso de algoritmos y procedimientos mecánicos y sin abordar un análisis previo del problema, lo que se traduce en un aprendizaje poco significativo de conceptos. Además, alertan que los profesores no consultan investigaciones en

enseñanza, lo que puede limitar sus apreciaciones con respecto a temas, evaluaciones y metodologías alternas.

Continuando con la idea central en resolución de problemas, una gran parte de los trabajos revisados se sitúan en que las estrategias utilizadas continúan apoyadas en métodos tradicionalistas de enseñanza y, además, un porcentaje amplio de los estudiantes no conocen los aspectos conceptuales de los contenidos evaluados en la resolución de los problemas. Muchos de los autores concuerdan que los estudiantes, a menudo, pueden resolver problemas numéricos pero no los mismos problemas si son conceptuales en cursos de química general (Ver Beek y Louters, 1991 y Nakhleh, 1993), sin embargo Bhattacharyya y Bodner (2005), Bhattacharyya (2014), Grove y Rush (2012a), Ferguson y Brother (2008) Flynn y Featherstone (2017) hacen la misma afirmación para estudiantes en cursos de química orgánica; ratifican que se aprenden palabras, pero no significados en los que se basan las soluciones.

Los resultados evidencian que un porcentaje amplio de los estudiantes no conocen los aspectos conceptuales de los contenidos evaluados en la resolución de los problemas, pueden resolver problemas algorítmicos sin entender conceptos químicos (Ver Beek y Louters, 1991), situación compleja puesto que los profesores de química solemos invertir gran cantidad de tiempo y esfuerzo en pos del aprendizaje de conceptos químicos. Incluso Grove, Cooper y Cox (2012b) manifiestan que a pesar de que algunos estudiantes asistieron a tres sesiones de clases impartidas por profesores diferentes que utilizaron distintas pruebas y métodos de enseñanza, no hubo diferencias en los resultados tras la resolución de problemas, esto permite reconocer que algunos productos de investigación corroboran que los estudiantes dan respuestas correctas usando raciocinio errado, de tal forma que pueden aprobar cursos sin poseer el anhelado dominio conceptual que los facultaría para resolver verdaderos problemas en la práctica como profesionales. Tal como lo expresa la siguiente afirmación:

Un colega señaló que un título en Física puede obtenerse sin jamás haber respondido completamente alguna pregunta en un examen escrito. ¿Cómo?, pues obteniendo en suficiente cantidad créditos parciales y créditos extra, y con cierta ayuda en sus notas (Wiesenfeld (traducción por García), 2009, p.77).

Fue notable el que Niaz (1995) difiera de la idea general que se encontró en la revisión de la literatura, pues sus resultados mostraron que “la habilidad en resolver

problemas algorítmicos conduce a una comprensión conceptual” (p.963) Posiblemente con un grupo concreto de estudiantes, en un ambiente particular de trabajo y en una temática precisa se pueda afirmar lo anterior, pero el hecho de que muchos investigadores no converjan en este punto se apuesta más por la debilidad conceptual por un exceso de trabajo algorítmico, que no ayuda a la retención de conceptos y la posterior reconciliación integradora que cada nueva situación de resolución de problemas debe aportar.

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CAPÍTULO 3: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Introducción

La enseñanza y el aprendizaje de la química han sido fuente de preocupación para diversos grupos de investigadores en las últimas décadas. Aunque a diario se publican nuevas propuestas en pro de mejorar sus alcances, son tantos los contenidos y temas a tratar, que es necesario un consenso en el compromiso de la comunidad química para ofrecer alternativas didácticas que mejoren el desempeño de los estudiantes.

El referente teórico central en la investigación es la teoría del ‘Aprendizaje verbal Significativo’ de Ausubel (1968-2002), que es una teoría psicológica del aprendizaje en el aula que permite conocer los mecanismos que tienen lugar durante la adquisición y retención de significados conceptuales. La finalidad de esta teoría es el aprendizaje generado en un contexto escolar. Según este autor, el lenguaje determina el nivel de funcionamiento cognitivo implicado en la adquisición de conceptos abstractos y de orden superior por Aprendizaje Significativo. En su opinión, el lenguaje permite a los seres humanos la adquisición por aprendizaje significativo de una vasta cantidad de conceptos y principios que, por sí solos, no podrían llegar a descubrir a lo largo de la vida.

Estas ideas ausubelianas sustentan los intereses de la presente investigación. La teoría de Ausubel ha tenido contribuciones que la han enriquecido y, a la vez, han ayudado a una mejor comprensión de sus ideas. Así, Moreira (2010), apoyándose en las ideas de Postman y Weingartner (1969) propone la teoría del ‘Aprendizaje Significativo Crítico’. Desde esta perspectiva se entiende el aprendizaje significativo crítico aquel que permite al sujeto formar parte de su cultura y, al mismo tiempo, estar fuera de ella. Se trata de una óptica antropológica en relación con las actividades de su grupo social que permite al individuo participar en ellas y al mismo tiempo reconocer cuando la realidad se está alejando tanto que ya no puede ser captada por parte del grupo; el aprendizaje significativo crítico subyace a esta idea de subversión.

Los principios para promover este aprendizaje son coherentes con las posturas de Ausubel, por lo que hemos creído oportuno integrarlo en el marco teórico de la

investigación. También los fines de esta tesis, es esencial una mirada a la visión interaccionista sociocultural del aprendizaje propuesta por Vigotsky (Moll 1993). Para él, las funciones psíquicas humanas tienen origen en los procesos sociales y esas funciones son relaciones sociales interiorizadas y ese proceso de interiorización está mediado por instrumentos y signos, creados por los seres humanos. Es decir, el proceso de interiorización implica una mediación esencialmente humana, una mediación semiótica en la que el lenguaje -la palabra- es esencial.

Desde la perspectiva del conocimiento químico, se ha considerado la propuesta denominada 'Estructura Lógica de la Química' donde se recogen los aportes de Jensen (1998 a, b, c) junto con la definición de lenguaje químico de Jacob (2001), que promueve un aprendizaje con significado, es decir favorece la integración de nuevos conceptos, construyendo otros más globales, diferenciar significados, en definitiva aprender significativamente.

A continuación, se describen de forma concisa, algunas ideas y principios de los referentes teóricos indicados que han sido seleccionados para el desarrollo de esta investigación.

3.2 Teoría del Aprendizaje Significativo

3.2.1 Características del Aprendizaje Significativo

El concepto central que define y caracteriza a la teoría ausubeliana es el *Aprendizaje significativo*, entendido como el proceso según el cual se relaciona un nuevo conocimiento o una nueva información con la estructura cognitiva de la persona que aprende de forma no arbitraria y sustantiva o no literal (Moreira, 2000). Pero, según Ausubel (1968, 2002) esa interacción con la estructura cognitiva tiene lugar con aspectos relevantes presentes en la misma y que denomina ideas anclaje o subsunsores. Durante ese proceso los nuevos contenidos adquieren significados para el sujeto produciéndose una transformación de los subsunsores de su estructura cognitiva. Después es la adquisición de nuevos significados, el paso siguiente en el proceso es su retención y/o el olvido de aquellos conocimientos que quedan en desuso porque no son funcionales. Pero Aprendizaje Significativo no es sólo el proceso en sí mismo sino también el producto final del proceso, el resultado emergente de la interacción.

La variable independiente más importante para que ocurra aprendizaje significativo, es la estructura cognitiva del individuo y así lo expresa el mismo autor:

Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría este: de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto, y enséñese consecuentemente (Ausubel, 1976, p. 6).

Para que se produzca Aprendizaje Significativo se requieren dos condiciones fundamentales:

- Actitud o predisposición del sujeto para querer aprender de manera significativa.
- Materiales potencialmente significativos, que requiere:
 - Que tengan significado lógico, esto es, sean potencialmente relacionables con la estructura cognitiva del aprendiz.
 - Que en el sujeto existan ideas de anclaje o subsunsores adecuados que permitan la interacción con el nuevo material. Significado psicológico.

La significatividad lógica no es garantía de aprendizaje significativo, sino sólo una de las condiciones necesarias. Cuando los conocimientos científicos tienen significado lógico, pueden relacionarse con la estructura cognitiva del individuo. El significado psicológico es, por tanto, el resultado de la relación sustantiva y no arbitraria de material lógicamente significativo con la estructura del aprendiz (Moreira, 2000). Sin embargo, conviene señalar que aún cuando exista predisposición para aprender y el material usado reúna las características indicadas, no habrá aprendizaje significativo si no existen subsunsores en la estructura cognitiva del sujeto.

Ausubel (1976, 2002) explica el aprendizaje en la edad escolar y adulta mediante la teoría de la asimilación. Según ésta, un nuevo conocimiento potencialmente significativo se asimila a un subsunsores relevante que resulta modificado debido a la interacción asimiladora, ya que se ha transformado en otro más explicativo y potente, es decir, el subsunsores se ha enriquecido y, al mismo tiempo, el material potencialmente significativo se modifica pasando a convertirse en real o psicológicamente significativo.

Este proceso queda esquematizado en la figura 3.1 tomada de Moreira (2000):

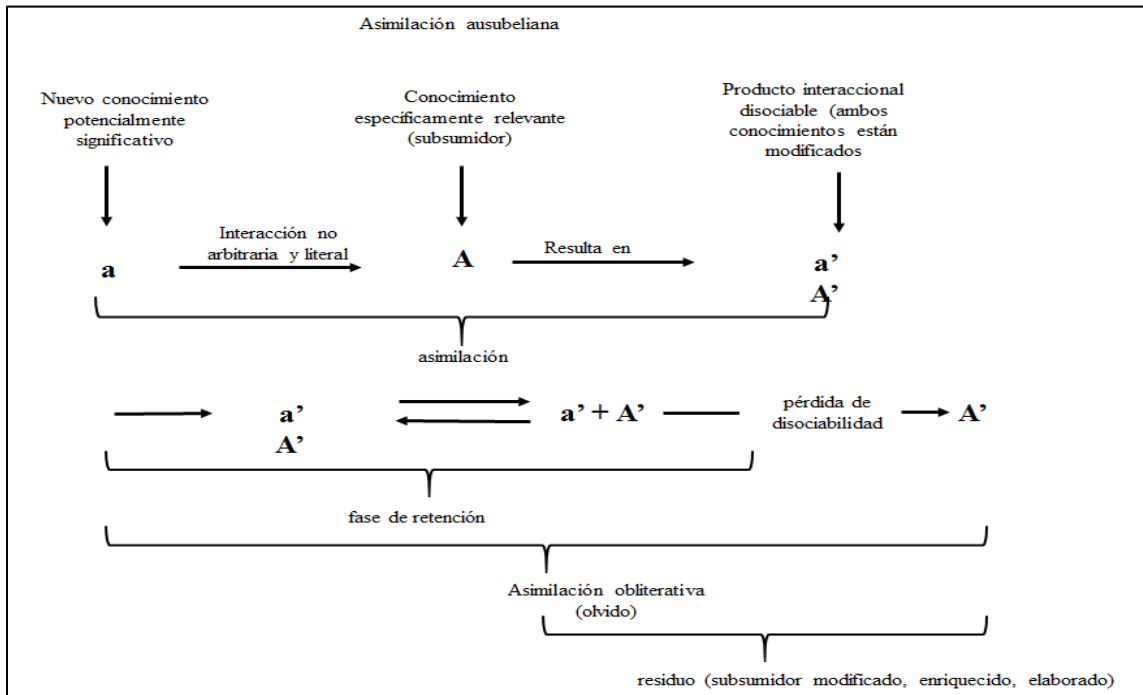


Figura 3.1. Esquema general de la asimilación, en la teoría del Aprendizaje Significativo.

Cuando la interacción entre subsunsores y material potencialmente significativo fracasa, es decir, que las ideas anclaje no sean compatibles con el nuevo conocimiento, se hace necesario proponer alguna estrategia para favorecer la compatibilidad. Ausubel introduce los denominados organizadores previos, cuyo propósito es servir como material introductorio a la presentación del nuevo conocimiento; su característica principal es servir como enlace entre el nuevo conocimiento y los subsunsores apropiados en la estructura cognitiva del aprendiz. Los organizadores previos pueden ser, como expresa Moreira (2000): una discusión en la clase, una demostración, un documento escrito, una película, un experimento.

Corresponde al profesor la difícil tarea de elaborar y reelaborar los materiales para que sean potencialmente significativos. Una adecuada inspección de los preconceptos de los estudiantes es la mejor pauta para el diseño del material con significado lógico (Moreira 2000). Cuando el aprendiz dispone en su estructura cognitiva de contenidos relevantes y adecuados, el significado lógico del material se convierte en significado psicológico. Además, se debe tener presente que si se interactúa con un material potencialmente significativo no necesariamente este conlleva a un aprendizaje

significativo; así, si la estructura cognitiva del estudiante no está preparada para asimilar dicho material el significado lógico no se convierte en psicológico y, en consecuencia, no hay transformación del primero en el último y por supuesto no hay aprendizaje significativo. Aunque esta condición se logre, se requiere además la intencionalidad, por parte del sujeto, de querer aprender significativamente.

Aprender es un proceso complejo, requiere de intención y deseo por parte del que quiere aprender e ir acompañado de un material potencialmente significativo, que presente el nuevo contenido. El vínculo entre aprendiz y el material lo presta el lenguaje, quien actúa como mediador. De acuerdo con Ausubel (2002), la comprensión genuina de un símbolo, concepto o proposición implica una posesión de significados claros, precisos, diferenciados y transferibles. Considera al lenguaje como requisito facilitador; además de ser operativo y funcional en la comunicación, permite que se aprendan símbolos que representan conceptos y objetos. El lenguaje opera inmerso en una mecánica mental de alto y constante nivel de transformación.

El significado está en las personas, no en las cosas o eventos. Para las personas es para quienes las señales, los gestos, los iconos, y sobre todo las palabras (y otros símbolos) significan algo. Esta ahí el lenguaje sea éste verbal o no. Sin el lenguaje, el desarrollo y la transmisión de significados compartidos sería prácticamente imposible (Moreira, 2004, p. 70).

Este papel del lenguaje en el aprendizaje significativo es reforzado por Moreira (2004), quien propone que al lenguaje como tercera condición para alcanzar un aprendizaje significativo además de la predisposición del alumno por aprender y de la existencia de un material potencialmente significativo,. Cada lenguaje, tanto en términos de su léxico como de su estructura, representa una manera singular de percibir la realidad; prácticamente todo lo que llamamos conocimiento es lenguaje (Moreira, 2010).

Como es conocido, el Aprendizaje Significativo es progresivo, es decir, los significados van siendo adquiridos progresivamente. Como comenta Moreira (2004), en este proceso el lenguaje y la interacción personal son muy importantes, el profesor a través del lenguaje y la interacción personal realiza una negociación de significados con los estudiantes, y así se alcanza un significado psicológico particular por cada estudiante.

Podría decirse que la puerta para alcanzar la comprensión es entender el lenguaje; cada disciplina posee un gran conjunto de símbolos con los cuales se ha construido y reconstruido su saber, a diario se introducen nuevos términos y entran en desuso otros; la asignación de significados, el poder compartirlos, negociar sus usos, definen una forma particular de ver el mundo, es conocer, aprender y comunicar. Particularmente el lenguaje químico, cumple con lo mencionado anteriormente, y de acuerdo con Alzate (2007) es vital considerar el lenguaje natural, al igual que el lenguaje químico, como conjunto mediador en los procesos de aprendizaje en el aula de Química.

3.2.2 Tipos de Aprendizaje Significativo

En cuanto a los tipos de aprendizaje, Ausubel considera que, atendiendo al objeto aprendido, el Aprendizaje Significativo puede ser *representacional*, de *conceptos* y *proposicional*. Veamos:

- Aprendizaje representacional: es un aprendizaje básicamente reiterativo y por descubrimiento que se produce en la infancia y su naturaleza es nominalista o representativa. Se establece una correspondencia entre el símbolo (una palabra) y su referente.
- Aprendizaje de conceptos: tiene una función simbólica derivada de la relación que se establece entre el símbolo y los atributos definatorios, regularidades o criterios comunes de diferentes ejemplos del referente.
- Aprendizaje proposicional: su finalidad es la atribución de significados a las ideas expresadas verbalmente, que son mucho más que la suma de los significados de los conceptos que las componen.

Ahora bien, si se utiliza como criterio la organización jerárquica de la estructura cognitiva del aprendiz, el Aprendizaje Significativo para Ausubel puede ser: *subordinado*, *superordenado* y *combinatorio*:

- Aprendizaje subordinado: se presenta cuando la nueva información se vincula con los conocimientos relevantes de la estructura cognoscitiva previa del alumno, es decir, cuando existe una relación de subordinación entre el nuevo conocimiento y la estructura cognitiva del sujeto; es el típico proceso de subsunción. El aprendizaje de conceptos y de proposiciones, responde a una relación de subordinación, pues involucra la subsunción de conceptos y

proposiciones potencialmente significativos a las ideas más generales e inclusivas ya existentes en la estructura cognoscitiva. El aprendizaje subordinado puede a su vez ser de dos tipos: *derivativo* y *correlativo*. El primero ocurre cuando el material es aprendido y entendido como un ejemplo específico de un concepto ya existente, confirma o ilustra una proposición general previamente aprendida. El significado del nuevo concepto surge sin mucho esfuerzo, debido a que es directamente derivable o está implícito en un concepto o proposición más inclusiva ya existente en la estructura cognitiva, por ejemplo, si estamos hablando de los cambios de fase del agua, mencionar que en estado líquido se encuentra en las "piletas", sólido en el hielo y como gas en las nubes se estará promoviendo un aprendizaje derivativo en el alumno, que tenga claro y preciso el concepto de cambios de fase en su estructura cognitiva. Cabe indicar que los atributos de criterio del concepto no cambian, sino que se reconocen nuevos ejemplos.

- Aprendizaje superordenado: ocurre cuando se incorpora un concepto o una idea que es capaz de subordinar a otras ya existentes en la mente del individuo porque tiene un mayor grado de abstracción y generalidad, resultando más inclusiva.
- Aprendizaje combinatorio: en este tipo de aprendizaje no se dan relaciones de subordinación ni de superordenación, sino que se establecen conexiones con contenidos disponibles en la estructura cognitiva pero solo de modo general. Se trata de proposiciones que tienen sentido en términos genéricos y que se detectan como significativas, pero sin que puedan ser asimiladas o puedan asimilar otras ideas existentes (Moreira, 2000).

3.2.3 Principios del Aprendizaje Significativo

Ausubel expone dos principios dinámicos que se presentan durante el proceso de aprendizaje significativo:

- Diferenciación progresiva de conceptos y de sus relaciones.
- Reconciliación integradora de conceptos y sus relaciones.

Cuando se comienza una instrucción se presentan las ideas más generales e inclusivas del contenido programático, para luego ser diferenciadas en detalle y particularidad así cuando un nuevo concepto o proposición es aprendido por un proceso

de interacción y anclaje con un concepto subsumidor este también se modifica. La ocurrencia de ese proceso una o más veces lleva a la diferenciación progresiva del concepto subsunor. Cuando se ha aprendido significativamente, ideas establecidas en la estructura cognitiva pueden, reorganizarse y adquirir nuevos significados. Esta recombinación de elementos previamente existentes en la estructura cognitiva es referida por Ausubel como reconciliación integradora; indica entonces que al ser impartida la instrucción se recomienda explorar las diferencias y similitudes relevantes y reconciliar las inconsistencias reales y aparentes.

En el fondo, todo aprendizaje que se produzca en reconciliación integradora resultará también en diferenciación progresiva adicional de conceptos y proposiciones. Esto es, la reconciliación integradora es una forma de diferenciación progresiva de la estructura cognitiva, que ocurre en el aprendizaje significativo (Moreira, 1995, p. 9).

(...) Una manera de promover la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora es a través del uso de mapas conceptuales (Moreira y Buchewitz, 1993, p. 14.).

Para aprender significativamente, el aprendiz no puede ser un receptor pasivo; al hacer uso de los significados que posee, los nuevos conceptos pueden ser asimilados y generar un cambio en su estructura cognitiva; cuando se presentan nuevos materiales educativos puede hacer simultáneamente diferenciación progresiva de significados y al mismo tiempo identificar semejanzas y diferencias para organizar su conocimiento a través de la reconciliación integradora, es decir construcción de su conocimiento.

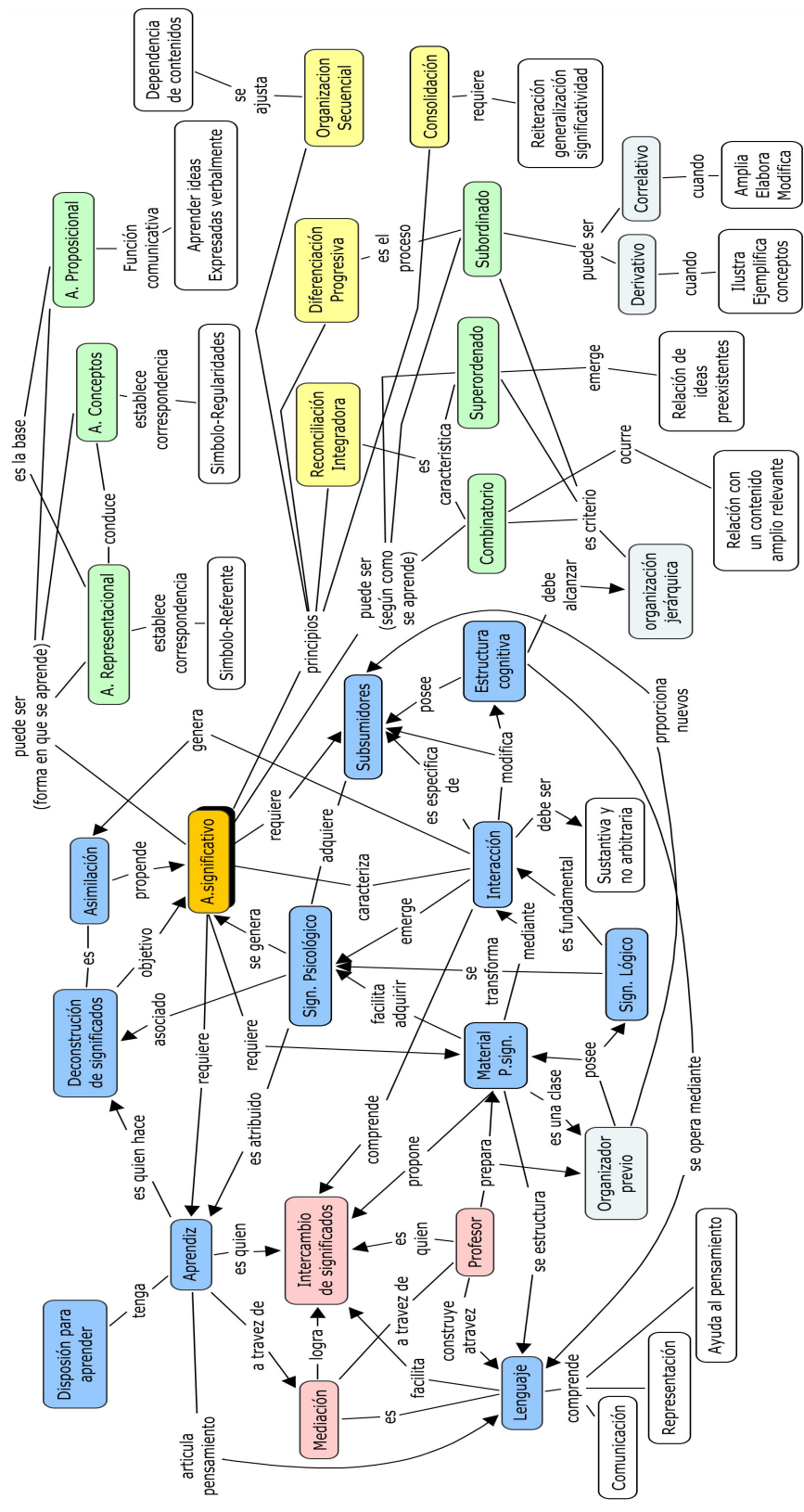
3.2.4 Aprendizaje Significativo respecto a la enseñanza

La teoría del Aprendizaje Significativo principalmente propone una conducta que lleva a que el aprendiz y el profesor enfoquen toda su atención en el verdadero sentido que tiene la palabra aprender. El aprendiz está obligado, si busca el aprendizaje significativo, a querer aprender significativamente, además de dejar abiertas todas las posibilidades de interactuar con el conocimiento. Al mismo tiempo, el profesor debe procurar hacer una revisión global del área de estudio, o sea, identificar la estructura conceptual y proposicional de la materia a enseñar, seguidamente debe interactuar con el aprendiz para obtener la mayor información posible acerca de cuáles son los subsumidores que posee, para continuar con la interacción con el material potencialmente significativo que el profesor debe suministrar considerando todo el

material de enseñanza para dicho curso, que facilite la asimilación de conceptos y proposiciones a través de todo el conocimiento contenido en la estructura cognitiva del alumno.

Para concluir estas consideraciones sobre los aspectos relevantes de la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, de interés para argumentar esta investigación, se presenta en la figura 3.2 un Mapa Conceptual que da una visión global de la Teoría.

Figura 3.2. Mapa conceptual relativo a la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel (Moreno, 2018))



El conocimiento del alumno y su saber, junto con el material potencialmente significativo, los organizadores previos, la estructura jerárquica del contenido, la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora y la consolidación, son elementos constituyentes de la teoría del Aprendizaje Significativo que pueden ayudar para implementar una enseñanza en el aula orientada a favorecer el aprendizaje significativo. Para intentar buscar evidencias de aprendizaje significativo, la mejor manera es formular problemas innovadores y no familiares que requieran la transformación del conocimiento adquirido, como lo ilustra el mapa conceptual de la figura 3.2. Por eso, la metodología en resolución de problemas es la alternativa seleccionada en esta investigación.

3.3 Aprendizaje significativo crítico

Para Moreira (2010), el “Aprendizaje significativo crítico es aquella perspectiva que permite al sujeto formar parte de su cultura y, al mismo tiempo, estar fuera de ella” (p. 7). En un mundo de constantes cambios, los individuos procuran adaptarse a su sociedad, deben saber lidiar la gran cantidad de información que es suministrada, clasificando su relevancia para uso personal; así mismo, deben ser usuarios conscientes de las nuevas tecnologías, estar preparados para el cambio y la relatividad del entorno, estar en constante evolución de pensamientos que permitan acceder a nuevas ideas y constructos, sin perder la conciencia del uso racional, ser capaces de tomar decisiones a pesar de la aleatoriedad del contexto y reconocer que estas pueden mudar a otras, sin olvidar que son seres que se desarrollan y conviven en lo social.

La teoría establece un principio al reconocer la acción cambiante del mundo y su relación con el aprendizaje, cuando se fijan modelos fuera de foco asociados a las prácticas educativas impartidas a estudiantes, donde no se permite el desarrollo personal, la crítica y autocrítica, las diferencias parciales, y en donde se refuerza constantemente el concepto de verdad absoluta, se pierde el potencial de equivocarse y aprender de ello. Estas razones van en contra de la preparación que se debe dar a los estudiantes, que más bien deberían ir de la mano con los avances actuales en ciencia y tecnología, donde son evidentes las modificaciones en teorías y constructos, asociados al rápido cambio, y la adición de nuevas áreas de estudio multidisciplinarias, donde es imprescindible la comunicación, la adaptación a nuevas situaciones, ser flexible y dinámico en respuestas y propuestas, estar preparado para el cambio constante de una sociedad que a diario produce más información de la que es posible leer sobre un tema

específico; es una evolución de aptitud y actitud renuente a la inercia mental de los antiguos procederes educativos.

Existen una secuencia de principios que facilitan el Aprendizaje Significativo Crítico, según Moreira (2013) son viables para implementar en el aula y críticos puesto que se contraponen a lo que normalmente sucede en la escuela:

1. “*Aprendemos de lo que ya sabemos* (Principio del conocimiento previo)” (Moreira, 2010, p. 8): este principio tiene el mismo significado con un poco más de alcance que en la teoría de Aprendizaje Significativo, para ser crítico de algún conocimiento; lo primero que tiene que suceder es aprenderlo significativamente y para que esto suceda su conocimiento previo es la variable más importante.

2. “*Enseñar/Aprender preguntas en lugar de respuestas* (Principio de la interacción social y del cuestionamiento)”: en primera instancia el profesor y alumno negocian significados mediados por el material potencialmente significativo preparado para tal fin, después de esto se comparten los significados; en todo el proceso las preguntas se intercambian permanentemente, se fomentan preguntas en todas direcciones y se proponen situaciones donde las preguntas aparezcan de forma natural; dar respuestas a preguntas y preguntar son fuente de conocimiento.

3. “*Aprender a partir de diversos materiales educativos* (Principio de la no centralización del libro de texto)”: los libros de texto suelen ser compendios de información que lastimosamente no son los más actualizados. Es preciso esperar que alguna persona con mucha experiencia en un determinado tema recopile variadas fuentes de información y las compacte en una única entrega, un libro de texto; cuando por fin el libro sale de la editorial y es compartido públicamente han pasados algunos años, es decir, no son la fuente más reciente de nueva información; no quiere decir que no se deben usar libros de texto, sin embargo es mejor invitar a clase a nuevos autores; leer el mismo tema de diferentes fuentes aporta riqueza en cuanto a los ejemplos de diferentes situaciones. Otras miradas, diversifica el acceso al conocimiento, lo mismo ocurre si son traídos materiales diversificados que propongan nuevas situaciones para comprender el mismo interés.

4. “*Aprender que somos perceptores y representantes del mundo* (Principio del aprendiz como perceptor/representador)”: ser perceptores del mundo significa ser

representadores del mundo, así lo que se percibe es una función de percepciones pasadas; el perceptor ahora representa en su mente el objeto del mundo, y decide si es funcional basado en percepciones pasadas, es decir en su experiencia. En el proceso de aprendizaje se debe estar con la capacidad de cambiar percepciones inadecuadas por otras nuevas que sean más funcionales.

5. *“Aprender que el lenguaje está totalmente involucrado en todos los intentos humanos de percibir la realidad (Principio del conocimiento como lenguaje)”*: el lenguaje es uno de los instrumentos por el cual podemos percibir la realidad; instruirse acerca de una disciplina es aprender los signos que describen su contenido y, en la interacción, es el lenguaje el que media en la apropiación de conceptos. Aprender un nuevo lenguaje también es apropiar nuevas formas de percepción, es adquirir nuevas herramientas de comunicación, es aprender a ver el mundo con otros ojos, no diferentes, más bien más grandes, diferenciadores, preparados para pensar de forma diferente respecto a él.

6. *“Aprender que el significado está en las personas, no en las palabras. (Principio de la conciencia semántica)”*: los significados que poseen las palabras fueron atribuidos por personas, así en la negociación de significados el profesor prepara un compendio de materiales para facilitar la percepción; las preguntas asociadas refuerzan las percepciones y las representaciones, todo esto en función del lenguaje. Los signos, entre ellos las palabras, son percibidas y representadas por el aprendiz que les da su propio significado (adecuado o no adecuado, pero es su significado). La palabra evoca la cosa, representa la cosa, significa la cosa pero no es la cosa. Las palabras sirven para nombrar cosas, pero los significados asociados cambian.

7. *“Aprender que el ser humano aprende corrigiendo sus errores (Principio del aprendizaje por el error)”*: aprender del error es diferente al aprendizaje por ensayo y error; el alumno aprende corrigiendo sus errores, errar es una condición humana y se debe reconocer en el proceso de aprendizaje. Dado que el conocimiento es construido y compartido por una comunidad, la corrección progresiva de los errores organiza el conocimiento presto al cambio; cuando una teoría no satisface las necesidades para las que fue postulada, una nueva la reemplaza, esto puede ocurrir al eliminar errores de la teoría anterior; se hace importante reconocer que la certeza no existe, no hay verdades absolutas, el conocimiento está atado al cambio.

8. *“Aprender a desaprender, a no usar conceptos que se hayan entrado en desuso e impidan acceder al nuevo conocimiento (Principio del desaprendizaje)”*: un principio fundamental en la teoría del Aprendizaje Significativo se relaciona con el conocimiento previo, cuando nueva información se relaciona de manera no literal con los subsumidores el significado lógico que proviene del material potencialmente significativo es transformado en significado psicológico, lo que Ausubel llama asimilación; pero, si en algún momento los conocimientos previos se comportan como un obstáculo para la adquisición de nuevo conocimiento, es necesario que ocurra un desaprendizaje, es posible que dicho conocimiento previo haya sido aprendido significativamente, es decir que, si se aprende significativamente conceptos no adecuados es necesario el proceso de desaprendizaje, y se debe ser consciente de ello, para que la información pertinente tenga los subsumidores apropiados y pueda ser adquirido el conocimiento.

9. *“Aprender que todo lo que sabemos tiene origen en las preguntas y que las definiciones y las metáforas son creaciones humanas. (Principio de la incertidumbre del conocimiento)”*. “El aprendizaje significativo de estos tres elementos sólo será de la manera que estoy llamando crítica cuando el aprendiz perciba que las definiciones son invenciones, o creaciones humanas, que todo lo que sabemos tiene origen en preguntas y que todo nuestro conocimiento es metafórico” (ibíd. p.16)

10. *“Aprender a partir de diferentes estrategias de enseñanza. (Principio de la no utilización del tablero. De la participación activa del alumno)”*: abandonar el tablero es abandonar la enseñanza transmisiva, pero aún más importante es utilizar nuevas estrategias de enseñanza, donde el estudiante sea participe activo, como proyectos de aula, discusiones grupales, obras teatrales, noticiero escolar, es decir, todo aquello que promueva la participación del estudiante y el papel mediador del profesor.

11. *“Aprender que el alumno debe expresar sus ideas. (Principio del abandono de la narrativa. De dejar que el alumno hable)”*: si son preparadas las clases dejando espacios prácticos para que los alumnos hablen y el profesor escuche, es posible atender como avanza la asimilación del conocimiento. Se debe estimular: hacer preguntas, que otro estudiante responda esas preguntas, compartir experiencias, comentar casualidades, mencionar anécdotas, premiar la escucha y no reprimir la participación.

La teoría del Aprendizaje Significativo Crítico invita a formar otro tipo de estudiantes, aquellos que toman decisiones con argumentos, aunque puedan no ser adecuadas. No solo se trata de aprender, sino también es necesario tomar una posición crítica sobre como asumimos el mundo y su cambio. El aprendizaje significativo clásico parece no ser suficiente, un mundo en constante cambio requiere de estrategias de adaptabilidad rápida y supervivencia, saber vivir en esta época pero también saber vivir fuera de ella; no es suficiente con aprender contenidos, el contexto del desarrollo personal influye en la formación, hoy la ciencia y tecnología proponen a diario nuevas herramientas para percibir el mundo y no podemos estar ajenos a ellas, las computadoras e internet han cambiado al mundo y nosotros con ellos, por esto, una estructura mental preparada para la detección de casualidades múltiples, la relatividad, las respuestas plurales, nos deja preparados para afrontar el presente y futuro. La educación nos debe preparar para esto, “el alumno podrá formar parte de su cultura, y al mismo tiempo no ser subyugado por ella (...)” (Moreira, 2010, p.7).

La teoría de Aprendizaje Significativo Crítico aporta una valiosa estructura para la propuesta metodológica. Son de interés particular los siguientes cinco principios facilitadores que ayudan de forma más específica que los seis restantes, para la implementación de las clases y las intervenciones en el desarrollo de la tesis:

- Principio del conocimiento previo: reconocer el conocimiento previo es fundamental para cualquier trabajo que se fundamente en aprendizaje significativo.
- Principio de la interacción social y del cuestionamiento: fomentar preguntas entre el profesor y los estudiantes y al revés, para obtener registros y concentrar su relevancia.
- Principio de la no centralización del libro de texto: resaltar la implementación de materiales potencialmente significativos alternos en la instrucción, en la propuesta de intervención con los estudiantes.
- Principio del conocimiento como lenguaje: impulsar la comunicación y mediación de conceptos, para permitir interpretar al otro y compartir con otros.
- Principio de la conciencia semántica: permite poder describir las concepciones del estudiante mediadas por el lenguaje a través de preguntas, si son sus significados compartidos por una comunidad química.

3.4 Aportaciones de la teoría de la mediación social de Vygotsky en un acercamiento a la teoría del Aprendizaje Significativo

Para Vygotsky en su teoría de fundamentación marxista del funcionamiento del intelectual humano, reconoce al hombre como un ser histórico cultural que es moldeado por la cultura que él mismo crea en sus relaciones con otros, es decir, el individuo se determina por las interacciones sociales por medio del lenguaje; también reconoce la actividad mental como exclusiva de la raza humana, resultado del aprendizaje, de la enseñanza y del ser social que participa de una sociedad.

Vygotsky, parte de la concepción de que todo organismo es activo, estableciendo una continua interacción entre las condiciones sociales que cambian continuamente. A partir de las estructuras orgánicas se forman las nuevas funciones mentales dependiendo de las experiencias sociales, donde el proceso de desarrollo crece a uno superior de origen sociocultural.

Las funciones psicológicas superiores son posibles gracias a las actividades cerebrales que se derivan en dos saltos cualitativos del desarrollo: el primero cuando se adquiere el lenguaje oral y el segundo cuando adquiere el lenguaje escrito. Según Vygotsky, los procesos mentales superiores (pensamiento, lenguaje, comportamiento voluntario) tienen su origen en procesos sociales donde la actividad cerebral superior, que ocurre a nivel neuronal, permite la interiorización de significados sociales derivados de las actividades culturales, de forma que el desarrollo cognitivo debe entenderse con referencia al contexto social, histórico y cultural en el que se desarrolla la persona.

Pero la conversión de relaciones sociales en procesos mentales superiores no es directa, está determinada por *instrumentos y signos* los cuales son construcciones sociohistóricas. Un *instrumento* puede considerarse como algo que puede usarse para hacer alguna cosa; un *signo* es algo que significa alguna otra cosa.

Existen tres tipos de signos: *indicadores* son aquellos que tienen una relación de causa y efecto con aquello que significan (humo, por ejemplo, significa fuego porque es causada por el fuego); *icónicos* son los que son imágenes o diseños de aquello que significan; *simbólicos* son los que tienen una relación abstracta con lo que significan. Las palabras, por ejemplo, son signos (simbólicos) lingüísticos; los números son signos (también simbólicos) matemáticos. La lengua, hablada o escrita, y la matemática son sistemas de signos (Moreira, Caballero y Rodríguez, 1997, p. 8).

Los instrumentos son medios externos utilizados por los individuos para interferir en la naturaleza, cambiándola y, consecuentemente, provocando cambios en los mismos individuos (Lucci, 2002). Para Vygotsky, es a través de la internalización de instrumentos y signos como se da el desarrollo cognitivo, es decir, la conversión de relaciones sociales en funciones mentales. Cuando se utilizan más y más signos, es mayor la modificación de operaciones psicológicas de la persona.

De igual forma, cuantos más instrumentos un individuo aprende a usar, más amplías son las actividades en las que puede aplicar sus nuevas funciones psicológicas; tal vez por esto, es la importancia de que el desarrollo educativo pase por una serie de experiencias de múltiples índoles, estudiar artes, música, danza, dibujo, teatro, ciencias sociales, historia, geografía, filosofía, comunicación social, ciencias naturales, matemáticas, biología, física, química, entre otros. Todos los saberes aportan sistemas lógicos propios, lo que permite continuar creciendo en número de instrumentos y signos y sus relaciones; cuanto más se aprende mayor es el potencial de aprender.

El uso de instrumentos, especialmente del lenguaje como sistema de signos e instrumento del pensamiento en la mediación con el ambiente, distingue al hombre de otros animales, de forma que instrumentos y signos, se crean en la historia e influyen decisivamente en su desarrollo social y cultural.

Vygotsky consideraba que la adquisición del lenguaje constituye el momento más significativo en el desarrollo cognitivo; cuando el individuo va utilizando más signos, más se van modificando, esencialmente, las operaciones psicológicas que es capaz de hacer. De la igual forma, como menciona Moreira, Caballero y Rodríguez (1997), “cuantos más instrumentos va aprendiendo a usar, más se amplía, de modo casi ilimitado, la gama de actividades en las que puede aplicar sus nuevas funciones psicológicas” (p. 8).

Por lo anterior, se debe considerar el lenguaje como mediador importante en la formación y en el desarrollo de las funciones psicológicas superiores. El lenguaje es un sistema simbólico; al ser elaborado en el curso de la historia social del hombre, permite organizar los signos en estructuras complejas, por ejemplo: nombrar objetos, destacar calidades, establecer relaciones, dar diferentes significados a una misma palabra según

el contexto, análogo a lo que en el capítulo 3 se ha referido como la múltiple representacionalidad en la química.

En consecuencia, el lenguaje constituye el sistema de mediación simbólica y funciona como instrumento de comunicación, planificación y autorregulación. Sin duda, el lenguaje es un poderoso mediador que permite entrar en contacto con objetos externos no presentes; igualmente permite abstraer, clasificar y generalizar características de objetos, situaciones y eventos; es justamente por su función comunicativa el modo en el que el individuo se apropia del mundo externo. Del mismo modo, en la interacción social ocurren negociaciones de significados, reinterpretaciones de antiguos conceptos y significados, además el lenguaje permite la preservación, transmisión y asimilación de información, experiencias y vivencias de la sociedad y a lo largo de la historia, por lo tanto, se debe advertir del papel que juega en la construcción del conocimiento.

Efectivamente, el lenguaje sirve para organizar, construir y transformar el pensamiento, para aprender, comunicar y compartir experiencias con los demás. Para Vygotsky, el momento más significativo en el desarrollo del niño es cuando el lenguaje y la actividad práctica convergen:

En un momento dado se unen, el lenguaje se vuelve racional y el pensamiento verbal. El desarrollo se vuelve sociohistórico ya que, por medio del lenguaje racional la sociedad inyecta en el individuo las significaciones que ha elaborado en el transcurso de su historia (Morales, 1990 p.11).

La interacción social de la que se ha venido hablando, implica un mínimo de dos personas intercambiando significados, lo que denota una bidireccionalidad implícita, es decir, una interacción dinámica de todos los participantes - la relación entre profesor y estudiantes es un ejemplo pertinente en nuestro caso -. La adquisición de significados y la interacción social son inseparables en la perspectiva de Vygotsky, teniendo en cuenta que los significados de los signos se construyen socialmente.

Estos significados aparecen tras la interacción social, bien sea a través de la lectura, el uso de herramientas (pueden ser digitales) o la resolución de problemas; en la relación social se encuentra el cimiento de los significados socialmente compartidos en un determinado contexto; sólo a través de interacción social el estudiante puede captar

significados y confirmar que son compartidos socialmente para los signos involucrados en dichas tareas. De nuevo es el aula un buen ejemplo donde se fragua esta relación.

Continuando con la última idea, se debe reconocer que el proceso educativo tuvo un gran significado teórico en la propuesta de Vygotsky, representó la reorganización de un sistema social clave y un discurso, con potencial para el desarrollo de nuevas formas de pensamiento.

(...) su teoría educacional es una teoría de transmisión cultural como también una teoría de desarrollo. Ya que 'educación' no sólo implica para Vygotsky el desarrollo del potencial del individuo sino la expresión y el crecimiento histórico de la cultura humana de la que surge el Hombre (Moll, 1993, p.13).

Otro aspecto importante es el concepto de zona de desarrollo próximo el cual es muy útil en el campo educativo que ofrece Vygotsky. Esta noción “designa las acciones del individuo que al inicio él puede realizar exitosamente sólo o en interrelación con otras personas, en la comunicación con éstas y con su ayuda, pero que luego puede cumplir en forma totalmente autónoma y voluntaria” (Matos, 1995, p.8).

Moll (1993), menciona tres características para crear una zona de desarrollo próximo:

1. Establecer un nivel de dificultad. Este nivel, que se supone que es el nivel próximo, debe ser algo desafiante para el estudiante, pero no demasiado difícil.
2. Proporcionar desempeño con ayuda. El adulto proporciona práctica guiada al estudiante con un claro sentido del objetivo o resultado de su desempeño.
3. Evaluar el desempeño independiente (p. 20).

Para Vygotsky, el aprendizaje precede al desarrollo, es decir, entre el aprendizaje y el desarrollo existe una relación dual, donde una enseñanza adecuada contribuye a crear zonas de desarrollo próximo; esto es, ayuda a que el nivel potencial de desarrollo del aprendiz se integre con el actual y, a su vez, promueve progresos en el desarrollo cognoscitivo general.

Consecuente con lo anterior, la teoría de Vygotsky considera a la escuela fuente de crecimiento del ser humano, al introducir contenidos contextualizados, significativos y

orientados a la zona de desarrollo próximo. Para él lo esencial es el uso colaborativo de las formas de mediación para crear, obtener y comunicar sentido (Moll, 1993). La enseñanza debe apuntar a aquello que el aprendiz no conoce, realiza o domina suficientemente y resalta la resolución de problemas como ayuda para lograrlo. Es decir, ser exigente con los estudiantes y posicionarlos ante problemas que les obligue a realizar un esfuerzo de comprensión y de resolución en tareas familiares y no familiares.

La teoría sociocultural da énfasis a las interrelaciones sociales. El niño es quien reconstruye el conocimiento, destacando que en el ámbito escolar es fundamental la relación entre estudiantes y profesores. Son estos últimos los encargados de diseñar estrategias interactivas que promuevan zonas de desarrollo próximo, tomando en cuenta el conocimiento relevante de los estudiantes, la cultura y partir de los significados que ellos poseen en relación con lo que van a aprender. Completamente de acuerdo con el aprendizaje significativo que propone Ausubel.

Para potenciar dichas estrategias es importante diversificar los tipos de actividades, posibilitar la elección de tareas distintas de parte de los estudiantes y recurrir a diversos materiales de apoyo; por ejemplo, la interacción con diferentes clases de materiales potencialmente significativos son una vía para acceder al conocimiento.

Después de exponer las ideas principales que aporta Vygotsky, parece razonable realizar un intento por relacionarlas con el Aprendizaje Significativo que se espera alcancen nuestros estudiantes. Si el objetivo es aprender significados pertinentes, estables y diferenciados, lo que se logra a través de la interacción entre un material potencialmente significativo y la estructura cognitiva, al transformar el significado lógico en psicológico para el estudiante y de acuerdo con Moreira et al. (1997) es una transformación análoga a la internalización de instrumentos y signos según la propuesta de Vygotsky. Aprender una determinada materia de forma significativa sería internalizar los significados aceptados y construidos por una comunidad, en nuestro caso científica, a través de instrumentos y signos adquiridos en su desarrollo histórico.

La adquisición de significados no es una tarea fácil, se requiere de un esfuerzo personal y además “querer aprender” (premisa de Ausubel). Por excelencia las personas aprenden por recepción al permitir la interacción de nueva información con sus subsumidores, sin embargo, este aprendizaje requiere de un intercambio o negociación de significados, camino que transita por la interacción social Vigotskyana, de forma que

no se tiene que descubrir el uso de instrumentos y el significado de signos, es la misma interacción social la que permite la apropiación de ellos para los fines necesarios.

La interacción social, comparte el lenguaje como aspecto de suma importancia como lo hace la teoría del aprendizaje significativo:

Para todas las finalidades prácticas, la adquisición de conocimiento en la materia de enseñanza depende del aprendizaje verbal y de otras formas de aprendizaje simbólico. De hecho, es en gran parte debido al lenguaje y a las simbolizaciones como la mayoría de las formas complejas de funcionamiento cognitivo se vuelve posible (Ausubel 1968, p. 79).

Es importante reconocer que el aprendizaje significativo se desarrolla en una continua interacción social, como lo reconoce Moreira (1997), “hay un intercambio, ‘negociación’, de significados por la vía de la interacción social” (p. 9). Esto significa que las relaciones personales se transforman en procesos mentales mediados por el lenguaje, en una interacción social que facilita el aprendizaje significativo.

Vygotsky es claro al decir que una enseñanza adecuada es promotora del desarrollo cognitivo y además lo dirige; él planteaba dos niveles de desarrollo, el nivel actual y la zona de desarrollo próximo la que se encuentra en proceso de formación, es decir el desarrollo potencial, donde la interacción social en este punto es la que lleva al aprendizaje; por ejemplo, si se determina la capacidad del individuo de resolver problemas solo, y la capacidad de resolver problemas con un tutor más experimentado puede dar una idea al educador de la enseñanza a impartir y promover niveles de avance. La enseñanza, debe producirse en la zona de desarrollo próximo al ser diagnosticada tal como recomienda Ausubel en la premisa más reconocida de su teoría del Aprendizaje Significativo. De este modo el profesor es quien ya ha pasado por la etapa de la interacción social donde interiorizó significados socialmente compartidos por su comunidad científica y ahora es el momento de hacer que sus alumnos también logren compartirlos.

Definitivamente, el profesor un mediador, para que los alumnos aprendan significativamente en sus contextos sociales reales y promulgar una enseñanza constructivista que promueva un cambio conceptual que permita conseguir un aprendizaje significativo. Lo que nos hace reconocer la dificultad de llevar el

constructivismo al aula de clase, como menciona Moreira (1997), “es difícil ser constructivista en el aula. Es difícil facilitar el aprendizaje significativo. Y las teorías constructivistas no ayudan mucho porque no se proponen eso. No son teorías de enseñanza. Son de aprendizaje, si no somos muy rigurosos con el término” (p. 17).

Adicionalmente, el autor de esta investigación, tras su interacción social personal y de aprendizaje durante su formación, concuerda completamente con lo expresado en el siguiente párrafo, donde la estructura de una teoría pensada para el aprendizaje puede fundar todas las herramientas para una buena enseñanza con significados pertinentes y útiles enfocada en el desarrollo en comunidad.

(...) La teoría original de Ausubel, enriquecida por Novak, a pesar de ser también una teoría de aprendizaje, es la que ofrece, explícitamente, más directrices instruccionales, principios y estrategias en las que se puede vislumbrar más fácilmente cómo ponerlas en práctica y que están más cerca del aula (Moreira, 1997, p. 17).

3.5 Estructura lógica de la química

Desde sus orígenes, la ciencia química se ha interesado en el estudio de las sustancias, y aunque en principio la aproximación a su comprensión solo fue posible a través de la interpretación directa de las diferentes interacciones con los materiales, dejando en muchos casos una poca satisfacción acerca de la explicación de los fenómenos observados. En la actualidad, tras el desarrollo de la tecnología y los avances diarios de la ciencia, se sabe mucho más acerca de las sustancias y de las nuevas teorías que generan mejores explicaciones a los fenómenos observados.

Aprender química va de la mano del aprendizaje de aspectos científicos y tecnológicos modernos; una de las mayores dificultades en su proceso de aprendizaje radica en la imposibilidad de observar de forma directa el mundo submicroscópico, donde se desarrollan procesos de interacciones entre las sustancias, tales como los equilibrios ácido-base, los híbridos de resonancia, el efecto de hiperconjugación, los enlaces intra e intermoleculares, los isómeros conformacionales, entre muchos otros, para luego ser traducidos utilizando modelos y representaciones, asociados con un aprendizaje significativo de la química, o sea, de *las sustancias y sus transformaciones*.

Hoy día la química comprende un sistema de modelos, conceptos y teorías, que

permiten interpretar y predecir fenómenos donde son involucradas sustancias naturales y artificiales; estas características se basan en una clasificación sistemática de propiedades (atómicas y moleculares) y registros experimentales, desde experiencias con un gran número de materiales.

Las teorías, conceptos y modelos son propios de las ciencias al ser construidos por los humanos en los procesos de investigación científica; es aquí donde la Química elabora un lenguaje propio lleno de significados y son los químicos los responsables de tal creación. Comprender los fenómenos reales, entendidos como las sustancias y sus transformaciones, comportamientos químicos y físicos perceptibles de modo directo o indirecto, cuando se encuentran reunidas formando mezclas o cuando reaccionan (combinación química) formando nuevas sustancias. La Química hoy día tiene una identidad, además de las áreas tradicionales formaliza nuevas subáreas, como la Astroquímica, Bioquímica, Geoquímica, Química de alimentos, entre otras, lo que la consolida en el ámbito científico y permite integrar nuevos investigadores y estudiantes a sus temáticas de interés

Willian B. Jensen, químico y filósofo norteamericano, presentó en la 57 Conferencia anual de verano de la Nueva Asociación Inglesa de Profesores de Química una propuesta de Estructura Lógica de la Química con fines pedagógicos, para ayudar a los profesores a orientar el diseño de los contenidos para el aula y a considerar una perspectiva del conocimiento químico; realiza una revisión crítica de la historia de la Química, y enlazando con las tesis de Kuhn (1971) acerca de las revoluciones científicas, sugiere tres revoluciones científicas en la historia de la Química, relacionadas con las categorías *molar*, *molecular* y *eléctrica*.

Jensen (1998a, b, c), clasifica el sistema conceptual de la Química en una estructura multirrelacionada de tres categorías generales (molar, molecular y eléctrica) y tres dimensiones (composición/estructura, energía y tiempo). Por su parte, dicha relación genera nueve subgrupos que relacionan una categoría con una dimensión, destacando que cada subgrupo es dependiente de las otras dos, siendo cada uno de los subgrupos un cúmulo de conceptos propios de las interacciones entre una categoría y una dimensión.

La categoría molar se constituye en un grupo de conceptos interrelacionados para interpretar las sustancias y las mezclas, las propiedades químicas y físicas y sus

comportamientos en un contexto definido. La categoría molecular hace referencia al lenguaje químico, utilizado por los químicos para representar y modelar las sustancias, creando fórmulas estructurales, fórmulas de composición y otras diferentes representaciones, con el fin de transmitir grupos de conceptos concentrados en una sencilla representación, muy útil para ser usados en la solución de problemas químicos de situaciones reales y otros de carácter predictivo. La categoría eléctrica permite la interpretación de las moléculas como interacciones entre núcleos y densidades electrónicas. Estas interacciones se entienden como enlaces químicos, responsables de la conectividad y, por lo tanto, de las estructuras espaciales de las unidades moleculares. Las tres categorías y las tres dimensiones se relacionan como se señala en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Categorías y dimensiones conceptuales de la de Química

Dimensión o Categoría	Molecular	Molar	Eléctrica
Composición o Estructura	Composición relativa, sustancias simples y compuestas, mezclas y soluciones, designación empírica de alomorfos...	Entropía, calorimétrica y calores de formación. Energía libre y constantes de equilibrio	Leyes de velocidad experimental. Parámetros de Arrhenius y/o entropías y calores de activación.
Energía	Fórmulas moleculares y estructurales. Racionalización de alomorfos como variación en composición absoluta (polímeros) o en estructura isómeros	Interpretación molecular de la entropía, calores de formación y calores de atomización, energía promedio de enlace, ... Mecánica molecular	Mecanismos de reacciones moleculares. Visión molecular de entropías de activación y complejo activado.
Tiempo	Fórmulas electrónicas (Lewis y configuración electrónica). Variaciones en la composición nuclear (Isótopos) y electrónica (iones)	Cálculos de energía basados en estructura electrónica. Interpretación espectral. Cálculo de calores de atomización...	Mecanismos de reacción iónica y fotoquímica. Efecto isotópico. Cálculos de energías de activación. Índices de reactividad electrónica.

Tomado de Jensen (1998)

En la figura 3.3 se representa un mapa conceptual sobre la estructura lógica de la química. Está estructurado a partir de algunos conceptos fundamentales que forman parte del conocimiento químico. Estas ideas integradas, con las propuestas por Jensen, conllevan a la construcción del mapa conceptual, en cuyo vértice superior se encuentra el concepto 'sustancias' y en conjunto con las tres categorías, las tres dimensiones,

transformaciones y representación, forman un sistema que por facilidad se ha representado de forma pentagonal; para después encontrar en el interior cuatro conceptos relevantes, ‘sistema químico’, ‘mezcla’, ‘lenguaje químico’ e ‘interacción entre sustancias’.

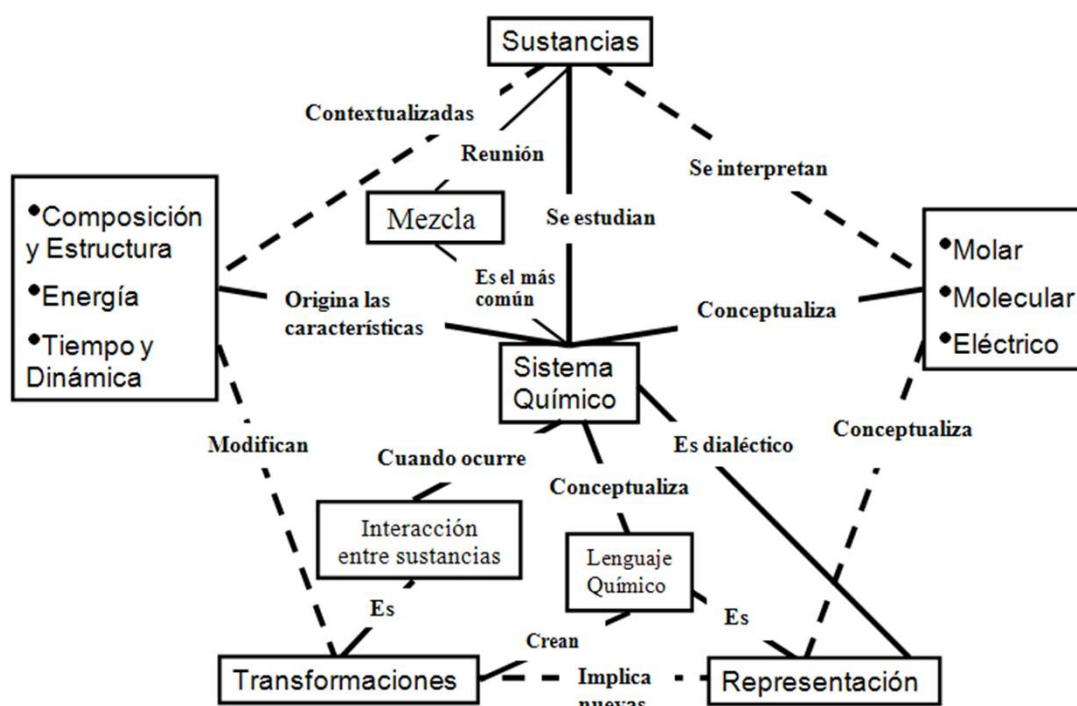


Figura 3.3. Propuesta de un mapa conceptual de la estructura lógica de la Química (Moreno 2015).

Como se puede visualizar, *sustancia* es el concepto central, que es contextualizado a través de las tres dimensiones del conocimiento químico, es decir una sustancia en particular posee una estructura y composición específica en unas determinadas condiciones, a las cuales también se asigna una energía y una dinámica en una unidad de tiempo; así es posible interpretar las sustancias desde las tres categorías del conocimiento químico, dependiendo de nuestro interés en un determinado momento, y es de destacar que en un discurso de aula es muy normal hablar simultáneamente de las tres categorías para una misma sustancia.

Una *mezcla* es una reunión de sustancias; cada sustancia que forma parte de una mezcla es como un elemento de un conjunto, solo que en este tipo de conjuntos está permitido que sus elementos interactúen entre sí, y muchas veces son los productos de

las interacciones los verdaderos nuevos elementos del conjunto. *Sistema químico* es un buen referente para estudiar a las sustancias, como una sustancia aislada, o lo más frecuente cuando estas se relacionan con otras sustancias, ya sea formando nuevas sustancias (lo que se ha llamado *transformaciones*) a través de interacciones fuertes y se piensa en *mezclas homogéneas* o como *mezclas heterogéneas* con interacciones débiles, esta vez sin transformaciones.

Lo más frecuente, es encontrar las sustancias en la naturaleza en forma de *mezclas*, esto es, reunidas con otras sustancias, todo esto conforma un tradicional sistema químico definido como el conjunto de sustancias y sus relaciones que lo conforman, dejando como objetivo del químico la conquista de las *sustancias puras* a través de procesos reflexivos y planeados, utilizando técnicas de separación. Por eso, “no se puede dejar de reconocer que la pureza de las sustancias pertenece al reino humano y no al reino natural. Es el hombre quien constituye en realidad el factor purificador (...)” (Bachelard, 1976, p 164).

Un amplio dominio de la disciplina Química: conceptos, modelos, lenguaje, métodos, progresos y problemas modernos e investigaciones de vanguardia, constituyen la materia prima que permite dilucidar el conjunto de conceptos fundamentales y sus relaciones de generalidad motivo de una organización lógica.

Todo sistema químico se conceptualiza a través de lenguaje químico, este lenguaje es a su vez representación, es la forma en que pensamos, inferimos y comprendemos los significados de un sistema químico en particular, o comparamos, diferenciamos y relacionamos dos sistemas químicos diferentes. Cada vez que ocurre una nueva transformación química, potencialmente estamos creando nuevo lenguaje químico, puesto que para comprender estas nuevas situaciones se hace necesario recurrir a nuevas representaciones y asignarles nuevos significados, es la continua construcción de este.

En ese sentido, los profesores del Instituto de Química de la Universidad de Antioquia anotan:

(...) Los contenidos a enseñar no son los mismos en cualquier época, ni su referente único los textos de moda en un dado momento. La química en los últimos sesenta años está inmersa en una profunda transformación en los métodos de hacer química, a raíz de los desarrollos de la síntesis química, la

creación y producción de nuevos materiales, de la química cuántica computacional y de la mecánica y la dinámica molecular. La modelación de sistemas simples y complejos disciplinares e interdisciplinares es cada vez más dominante en las actividades de diseño experimental (Profesores Instituto de Química UdeA, 2008, p.5).

3.6 Educación y lenguaje

“Los límites de mi lenguaje son los límites de mi mundo”
(Wittgenstein, 2014)

La reflexión epistemológica en la enseñanza de la Química posibilita a los profesores una mejor comprensión de su estructura conceptual, permitiendo involucrarla en el aula y en las acciones didácticas, lo que a su vez da más pertinencia a los procesos de enseñanza-aprendizaje. Adicionalmente, permite detectar y aclarar errores e imprecisiones en la presentación de estos conceptos y modelos, y se constituye en una guía para la interpretación del pasado y el presente de la Química y pone de manifiesto el carácter constructivo de su historia.

La educación es un concepto complejo al que se ha enfrentado el ser humano desde siempre, ha estado sujeto a diferentes ámbitos en cada una de las épocas y generaciones; este concepto ha sido asumido como la transmisión, instrucción, capacitación, culturización, entre otros, promovidos por grupos de personas por y para otras personas, con el fin de que cúmulos de conocimiento en cualquiera de las áreas se conserve a lo largo de los tiempos y sirva a las futuras generaciones para no repetir lo que ya se ha dicho y hecho.

Todo el proceso educativo de un individuo procede de su accionar en la sociedad y se hace fundamentalmente a través del lenguaje. El lenguaje es el vehículo de la cultura y es su medida, el éxito en el proceso educativo se da en la medida en que se desarrolla el lenguaje; el éxito del individuo en su núcleo social ocurre cuando se haya apropiado de la cultura y eso se da a través del lenguaje. Se es más competente si se ha desarrollado competencias para comunicar, significar, inferir, expresar, todo por medio del lenguaje. Un individuo podrá aportar a su sociedad para mejorarla si ha desarrollado competencias para hacerlo, y es a través del lenguaje como el individuo interioriza/exterioriza el mundo y se relaciona con los demás (Amaya, 2002).

Lo anterior lleva a que, si analizamos el lenguaje de un individuo o grupo social,

lo que hallaremos serán los elementos de la cultura que han sido adquiridos, por lo tanto, debe existir una estrecha relación entre los conceptos de educación y lenguaje. Como afirman Cluckhohn y Leighton (citados por Lahore 1993), “se tendrá éxito en el proceso educativo si se busca el desarrollo del lenguaje” (p.60).

Para que la educación se convierta en un ente formador, todos los discursos (el de las ciencias, la tecnología, el arte, la música, la lúdica, entre otros) requieren de una serie de operaciones del pensamiento, para que los estudiantes puedan enfrentarlos con categoría, y es desarrollando el lenguaje como se puede lograr. El desarrollo del pensamiento está determinado por el lenguaje, por todas las herramientas lingüísticas del pensamiento, la experiencia sociocultural del hombre nutre la interiorización del mundo.

Lahore (1993), comenta que el lenguaje no sólo es un requisito indispensable para la adquisición del conocimiento, sino que también puede constituir un impedimento, dada la relación entre pensamiento y lenguaje. Por ello, para la educación es fundamental precisar los alcances y relaciones entre lenguaje, estudiante y profesor; el poder mediador que tiene en la enseñanza es de vital importancia en las situaciones de aula donde son adquiridos los significados a través de la negociación de conceptos.

En la búsqueda de la autonomía y el progreso del individuo, el desarrollo del lenguaje y el pensamiento se constituyen en ejes transversales de la labor pedagógica de la escuela, entendiendo como escuela todos aquellos lugares y labores que promuevan la divulgación, crecimiento, y renovación del conocimiento. Mediante el lenguaje se potencia en el individuo la capacidad para leer y reconocer su entorno, para valorarlo, criticarlo, aprenderlo, reflexionar sobre él, además de desarrollar la creatividad y comunicación. Todo esto nos debe llevar a pensar que la mejor relación entre el lenguaje y la educación es dialéctica.

El lenguaje es de naturaleza social y establece una relación dual con la sociedad, pues sin esta no habría lenguaje, y sin el lenguaje no existiría la sociedad; este es un elemento de cohesión, el lazo invisible que une todos los elementos de la estructura de la sociedad (Van Dijk, 1992).

El lenguaje es un proceso que establece las relaciones entre todos los individuos de una sociedad y se manifiesta a través de diferentes códigos, los cuales se componen

de signos que resultan relevantes en un contexto donde todos los signos y sus códigos se interpretan mediante la utilización del pensamiento y se transmiten utilizando el lenguaje; es así como en una disciplina determinada la apropiación del lenguaje es la clave fundamental para alcanzar un elevado dominio de conocimientos, y de ser una disciplina sometida a adiciones constantes de nuevos contenidos en torno a su lenguaje para crear una sistemática de apropiación, consolidación, y transferencia para los futuros problemas a solucionar.

De igual manera, es importante precisar que el lenguaje no se reduce a la lengua; la lengua es una forma funcional de este, todas las formas que utiliza para establecer relaciones con los demás y con su entorno, por lo que nos concierne en el estudio de las ciencias y en particular de la Química. El lenguaje posee una diversidad de expresiones necesarias para lograr una adecuada intercomunicación, esta no necesariamente debe ser interpersonal, también es intrapersonal, la que lleva a una autoreflexión, a discernir los propios criterios internos y, por supuesto, a su posterior comunicación. El lenguaje opera con el pensamiento dando coherencia y significado, el lenguaje y el pensamiento están asociados en una función organizadora de la realidad.

Los procesos de lenguaje interiorizados permiten al estudiante desarrollar procesos cognitivos efectivos para explorar diferentes campos del saber y así descubrir sus potencialidades y limitaciones hacia uno u otro campo. Del mismo modo, le permite poner de manifiesto sus intereses y necesidades de formación. Acceder al conocimiento es un problema de comunicación con el código específico de la ciencia y no de la memoria o la dedicación en tiempo y espacio. Para llegar a la ciencia hay que entender sus códigos y métodos, ejercitarse en el manejo de las estrategias de pensamiento que se necesitan para desempeñarse adecuadamente.

El problema del desarrollo del lenguaje en los estudiantes de una comunidad educativa en particular no es exclusivo del área de lenguaje, ni se reduce a la asignatura ni a la clase, no es un problema que se pueda resolver desde la intensidad horaria, sino con una actitud ética de toda la comunidad; los problemas del desarrollo del lenguaje involucran los del desarrollo del pensamiento y esto tiene que ver con todos los campos del conocimiento, todas las áreas y los profesores.

Aunque nadie se atrevería hoy a objetar que es necesario fomentar el desarrollo de habilidades de pensamiento, optimizar estrategias de estudio efectivas, formar en

valores o incentivar la capacidad crítica y creatividad, estos siguen siendo hoy día objetivos muy descuidados en la formación de estudiantes de secundaria y universitarios, estando todos ellos necesariamente ligados a un correcto entendimiento y uso del lenguaje.

Cuando los estudiantes ingresan en la universidad se espera hayan alcanzado un nivel de pensamiento caracterizado por altas capacidades intelectuales. Entre otras:

- Razonamiento hipotético deductivo.
- Asumir y analizar críticamente, no solo el punto de vista personal sino el de los demás.
- Emplear proposiciones verbales o simbólicas como medio ideal de expresión de sus ideas y razonamientos.
- Tener conciencia del propio pensamiento y reflexionar sobre él.

Podría pensarse que las capacidades anteriores permitirían al adolescente a un funcionamiento intelectual reflexivo y objetivo, que de alguna manera le posibilitaría la adquisición de un aprendizaje significativo, pero realmente son muy pocos los estudiantes que muestran tal grado de alcance y la gran mayoría se ubican por debajo de los niveles mínimos esperados para afrontar la experiencia universitaria.

Gómez (1998), en su libro “Educación: la agenda del siglo XXI. Hacia un desarrollo humano”, compila una serie de documentos donde se presenta una visión amplia de la educación, desde la perspectiva del desarrollo del tercer mundo:

La Educación es la suma de las prácticas sociales que estimulan el aprendizaje. Es un proceso abierto y constante que compromete a todas las personas, los estamentos y las instituciones. Es una tarea del sistema escolar de la familia, de las iglesias, los partidos políticos, los sindicatos, los gremios, las asociaciones, los medios de comunicación (...) (p.43).

El anterior concepto, al igual que la mayoría, incluye no solamente una definición del qué de la Educación, sino el para qué, cómo, quién y a quién, que constituyen las dimensiones de cualquier acto humano y, la educación lo es por excelencia. Sus funciones son importantes, diversas y complejas en la medida en que ha de permitir y promover la circulación del conocimiento y del pensamiento local y universal. La

educación debe preparar al individuo para la vida, proporcionándole una formación integral en la que el educando debe lograr un cierto cúmulo de destrezas, saberes, actitudes, valores y demás; los necesarios para seguir aprendiendo: lectura, escritura, expresión oral, cálculo, razonamiento lógico y espacial, apreciación estética, apreciación artística, capacidad de interpretar y criticar, bilingüismo, habilidad matemática, resolución de problemas, trabajo en equipo, entender, practicar en las ciencias y la tecnología.

La atención prestada al lenguaje como mediador de conceptos, su importancia para la educación, y en especial para la enseñanza de las ciencias, hacen pertinente la presente investigación, al discernir en medio de la resolución de problemas el comportamiento de los estudiantes en un ambiente de aula. El investigador entrega una introspección en torno al grupo e intenta integrar en las intervenciones de los estudiantes seleccionados las reflexiones expuestas en esta unidad.

3.7 Lenguaje químico

El lenguaje químico tiene un origen remoto desde la época alquimista, pero en la química moderna se inicia tras la revolución instaurada por Antoine Laurent Lavoisier en 1789, inspirado en las ideas de Étienne Bonnot de Condillac y de Louis Bernard Guyton Morveau sobre sensualismo, percepción y el lenguaje en las ciencias.

Las primeras ideas para ordenar un método racional de nomenclatura química de Guyton, y Claude Louis conde de Berthollet, compartidas por Lavoisier, consistían en que el nombre de las sustancias, indicaran su composición química para lograr un acuerdo entre todos los químicos. Este trabajo condujo a la publicación de una obra en 1787 con el nombre de *Méthode de nomenclature chimique*, que después de veinte años fue enseñada en la mayoría de los países europeos.

La importancia de nombrar las sustancias y materiales de una forma precisa plantea el poder que tienen las palabras de transmitir y conservar ideas, reglas de nomenclatura que se conservan hoy en día, son una extensión del pensamiento de hace más de doscientos años. Lo anterior permite reconocer que “no se puede perfeccionar el lenguaje sin perfeccionar la ciencia, y a su vez, perfeccionar la ciencia sin perfeccionar el lenguaje” (Alzate, 2008b, p.19).

Fue así como el mencionado grupo de científicos instauró el camino de la construcción del lenguaje químico moderno. En el presente, el conocimiento químico ha sufrido una profunda transformación, propiciando el desarrollo de la Química, la investigación básica, industrial, de medicamentos e interdisciplinaria y una atención más especial de las necesidades sociales, lo que a su vez debe orientar los cambios curriculares, principalmente los procesos de aprendizaje y enseñanza, en el sentido de que el aprendizaje debe estar relacionado con la evolución de las teorías científicas.

La ciencia química, al estudiar por ejemplo las sustancias, sus transformaciones y las síntesis de nuevas sustancias, construye nuevas teorías; de modo continuo propone modelos diversos, expone, utiliza y mejora un sin número de metodologías experimentales y promueve un rico lenguaje constituido de fórmulas químicas, de composición, estructurales, moleculares, ecuaciones químicas que dan idea de cómo las sustancias se relacionan con otras sustancias en contextos determinados y un gran conjunto de palabras para nombrar los nuevos contextos de dichas relaciones.

El lenguaje químico es un sistema simbólico fundamental para la Química, donde es importante conocer cuáles son las reglas que constituyen su sintáctica y semántica, para así entender las consecuencias que la utilización de este lenguaje tiene para todas las personas que lo usan y especialmente para la didáctica y las estrategias de su enseñanza. Para Lahore (1993) el conocimiento de un lenguaje extraño es mucho más que el mero aprendizaje de etiquetas nuevas para conceptos conocidos; implica la adquisición de un nuevo sistema semántico y de un nuevo modo de pensar y de ver la realidad.

El lenguaje químico adquiere esta connotación en la medida en que un símbolo químico puede evocar múltiples significados, incluso para quien conoce la Química y para quien apenas empieza a conocerla, por ejemplo: cuando se escribe C_{60} , NH_3 , CCl_4 , $NaCl$, BaF_2 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, los químicos pueden distinguir que las tres primeras fórmulas de composición representan moléculas discretas, mientras que las tres últimas representan unidades fórmula. Esta capacidad de discriminar es una sensibilidad respecto al código lingüístico de la Química y se debe a que los símbolos químicos son portadores de información sobre las propiedades, estructura, composición y clase de sustancia.

El lenguaje químico no es un problema de símbolos incomprensibles para ser dados a las personas o copiados de algún referente como un libro, por ejemplo, o para ser aprendido de modo mecánico. El lenguaje químico es una construcción semiótica y como tal es una lingüística regida por normas sintácticas y semánticas (Alzate, 2008a, p.15).

La construcción del lenguaje químico va de la mano del desarrollo de la ciencia; simultáneamente un químico que aísla o sintetiza una nueva sustancia, o desarrolla una nueva técnica experimental, ofrece un código fundamentado en signos del lenguaje químico como nuevo referente de su hazaña y comprensible a su comunidad científica. Así lo menciona Jacob (2001):

¿Qué hacen los químicos? Por un lado, los químicos analizan y sintetizan nuevos compuestos en el laboratorio; por otro, hacen declaraciones de carácter analítico y sintético sobre estos compuestos en los artículos de investigación. Por lo tanto, es esencial entender cómo es el uso que dan los químicos a su lenguaje, qué normas rigen su uso, y qué consecuencias de la utilización de esta lengua tiene para la química en su conjunto (p. 31).

Este autor considera a la Química como una ciencia experimental que transforma sustancias y también transforma su propio lenguaje químico. Propone distinguir cuatro diferentes niveles de lenguaje químico:

- Un lenguaje particular para designar a las sustancias, Fe para hierro, K para potasio, C₆H₆ para el benceno.
- Un vocabulario particular para hablar acerca de las sustancias y sus comportamientos, por ejemplo, el sodio y potasio forman óxidos alcalinos.
- Un vocabulario particular para hablar acerca de las teorías, leyes y modelos que gobiernan el comportamiento de sustancias simples y sustancias compuestas. Por ejemplo, la periodicidad de los metales alcalinos: Li, Na, K, Rb, Cs.
- Un lenguaje para introducir la discusión epistemológica acerca de teorías, de su origen y de sus bases empíricas. Por ejemplo, un mecanismo de reacción es una representación lingüística de una reacción química.

El primer nivel del lenguaje químico es el núcleo de la lingüística química y

denota elementos, sustancias simples y compuestas, sus propiedades y transformaciones. En esta línea, en relación con el lenguaje químico, Jacob (2001) anota:

- *Conjunto de símbolos.* Es un alfabeto elemental que implica significados particulares para los elementos químicos y consiste de aproximadamente 118 símbolos, por ejemplo: H (Hidrógeno), C (Carbono), N (Nitrógeno), O (Oxígeno), S (Azufre), Na (Sodio), Cr (Cromo), As (Arsénico). El alfabeto no es limitado, está sujeto a la introducción de nuevos símbolos según el progreso científico acerca del conocimiento de nuevos elementos químicos, por ejemplo: Fl (Flerovio), Lv (livermorio), Og (Oganesón).
- *Sintaxis Química.* Los símbolos elementales pueden ser combinados para construir fórmulas químicas y representar la identidad química de una nueva sustancia, es decir, su composición cualitativa y cuantitativa, por ejemplo, $\text{Al}_{(n)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightarrow \text{AlCl}_{3(s)}$. Pueden combinarse símbolos de la misma clase y así representan a la sustancia simple o básica, y símbolos de diferente clase para representar sustancias compuestas. Como cada símbolo elemental representa un elemento, nos referimos a la combinación de una clase de elemento y a la combinación de dos o más clases de elementos.
- *Ortografía Química.* Reúne un conjunto de reglas para interpretar la combinación de sustancias simples y ser expresadas en fórmulas químicas, por ejemplo, Li y Br se puede combinar químicamente para obtener LiBr utilizando la propiedad de la valencia que dice, que el poder de combinación químico del litio es uno y el poder de combinación del bromo es uno.
- *Gramática Química.* Las fórmulas químicas son utilizadas para plantear ecuaciones químicas en grupo con los respectivos coeficientes estequiométricos, el uso de flechas unidireccionales y flechas bidireccionales para condiciones de equilibrio químico, todo el conjunto sirve para representar las reacciones químicas. La combinación química, es decir la interacción entre sustancias con su identidad química para generar otras nuevas sustancias con sus propias identidades químicas, es representada mediante ecuaciones químicas.
- *Semántica química.* Asociada al significado de los símbolos, de las fórmulas químicas, de las ecuaciones químicas, por ejemplo, $\text{NaCl}_{(s)}$ (significando un terrón de sal de cocina o su significado químico, físico, social, y cultural).

Schummer (1998) concuerda con la descripción de Jacob (2001) y reconoce los símbolos como elementos del lenguaje químico, un sistema de fórmulas estructurales que se inscribe en la estructura sintáctica y semántica del lenguaje químico y es utilizado para sistematizar, predecir y explicar relaciones químicas.

El significado de las fórmulas químicas como de las ecuaciones químicas se construyen a la par con el conocimiento acerca de las sustancias y sus comportamientos químicos. Las reglas tienen su origen en el mundo de las sustancias y sus reacciones químicas y son el resultado de una sistematización del conocimiento obtenido de las reacciones químicas y del análisis químico cualitativo y cuantitativo.

Por lo tanto, una sustancia no es un ente aislado, se concibe en una red de relaciones químicas. Cuando manipulamos una sustancia y la sometemos a ciertas operaciones, simultáneamente manejamos símbolos, igualmente cuando pensamos una sustancia y en algún comportamiento químico de ella, manipulamos símbolos. Operaciones con las sustancias y operaciones del lenguaje, constituyen una unidad de interacciones operacionales y conceptuales en la solución de situaciones químicas. Como diría Vergnaud (citado por Alzate, 2008a), “el lenguaje químico, como cualquier otro sistema semiótico, es función de comunicación, función de representación y función de ayuda al pensamiento” (p. 16).

Como se mencionó antes, la categoría Molecular del conocimiento químico constituye principalmente el lenguaje químico, símbolos, representaciones, fórmulas de composición (cuantitativas), fórmulas moleculares (cuantitativas cualitativas) y ecuaciones químicas. Todo ello es usado a diario para resolver problemas químicos que implican interpretación y transformaciones de las sustancias, puesto que al transformar las sustancias también se transforman los símbolos y códigos con los cuales se interpretan las sustancias.

Se insiste que la química, como una ciencia que transforma, no trata solo de materiales y metodologías experimentales, trata también de la construcción de sistemas de conceptos, de modelos moleculares y de un lenguaje, para operar con éstos en la acción dirigida y relacionada con las metamorfosis de las sustancias. Lenguaje y modelos que también se transforman en las operaciones con las sustancias (Alzate, 2008b, p.10).

Izquierdo (2004) alerta con respecto a la capacidad de comunicación que ha generado la ciencia química resaltando la participación del lenguaje y sus fines educativos:

Es urgente recuperar la capacidad explicativa de la química PARA TODOS; para ello se ha de relacionar la práctica química (la intervención en determinados fenómenos mediante los procedimientos propios de la química) y la teoría (la teoría atómica y sus entidades y magnitudes químicas), utilizando el lenguaje adecuado para ello y de acuerdo a finalidades educativas (p. 115).

El compendio de significados relativos al lenguaje químico nos permite avanzar a la reflexión sobre la reactividad química al grupo funcional carbonilo, el cual está formado por un doble enlace entre un núcleo de oxígeno y otro de carbono, quien a su vez puede formar dos enlaces simples con otros dos elementos químicos. La variación en la identidad química para estos sustituyentes aporta una gran familia de grupos funcionales clasificados en el contexto químico, en particular los grupos Aldehídos y Cetonas de interés en nuestro estudio, quienes son propensos a las reacciones de adición nucleofílica. En esta reacción un reactivo denominado nucleófilo dona un par de electrones libre al carbono carbonilo para formar un nuevo enlace que define la reacción de adición. Este mecanismo, con todas sus variaciones, es tarea de aprendizaje para estudiantes de cualquier curso de Química Orgánica (Mullins 2008); su importancia es relativa dada la diversidad de reacciones asociadas con múltiples reactivos en condiciones experimentales y muchas otras en procesos bioquímicos naturales.

En este punto, el lenguaje químico interviene aportando nuevos caracteres para optimizar la función comunicativa y, como se ha dicho, las ecuaciones químicas son las responsables de transmitir la información de los procesos químicos. De forma general, las fórmulas moleculares son el soporte para la construcción de ecuaciones químicas, pero se hace necesario trascender a un nivel más elaborado de representación cuando el objetivo es comprender los detalles de la transformación de las sustancias. El término ‘Mecanismo de Reacción’ es utilizado y ahora su base para la construcción son las fórmulas estructurales, las cuales detallan las estructuras moleculares. Un nuevo constructo se hace partícipe en la representación denominada notación de Robinson, el cual ofrece un modelo para representar el movimiento de electrones individuales o pares de electrones en los mecanismos de reacción, utilizando flechas curvas de una y dos

puntas respectivamente e indicando qué enlaces químicos se rompen y cuáles se forman a lo largo del proceso.

Aspectos como estos, son un ejemplo de las aleaciones que se pueden establecer entre el lenguaje químico y la estructura lógica química; a medida que se requiere mayor poder de comunicación se establecen más y mejores herramientas que lo posibiliten.

Un dominio del lenguaje químico debe repercutir en un dominio del conocimiento químico, como lo señala Flynn y Featherstone (2017) y, por tanto, en una reflexión de la estructura lógica que lo acompaña; para poder acercar la triada de conceptos anteriores y hacerla efectiva en el proceso escolar, se opta por relacionarlos en la instrucción a través de la resolución de problemas, mediante una estrategia de intervención que facilite el reconocimiento de características de la evolución del lenguaje químico como un camino para la conceptualización y el aprendizaje.

3.8 Resolución de problemas

La resolución de problemas es considerada una metodología activa de aprendizaje, además es una forma de viabilizar la transferencia del conocimiento; en ella los estudiantes enfrentan tareas que retan su inteligencia, la capacidad de poner en acción sus conceptos y adquieran sentido sus significados y donde la valoración de las posibles soluciones de un problema son un buen indicio del proceso de aprendizaje. Cuando la resolución de problemas se realiza en el aula aporta una habilidad mediante la cual el estudiante externaliza el proceso constructivo de aprender, convirtiendo en acciones los conceptos, las proposiciones o los ejemplos, a través de las interacciones con el profesor y los materiales de instrucción (Costa y Moreira, 2001).

Por lo tanto, la resolución de un problema añade algo a lo que ya conocemos, nos proporciona relaciones nuevas de conceptos entre lo que ya sabemos; de acuerdo al principio del conocimiento previo en el Aprendizaje Significativo Crítico aporta otros puntos de vista de situaciones ya conocidas. La resolución de problemas da una evidencia del aprendizaje significativo (Novak, 1991).

Para Ausubel (1983), la resolución de problemas es cualquier actividad en donde todo el conjunto de saberes previos expresados de un individuo y la estructura de una

situación denominada problema que se le ofrece, son reorganizados con el propósito de alcanzar un objetivo predeterminado. El primer acto de dicha actividad puede consistir en una aproximación a través de un mecanismo de ensayo y error que se aproxime a discernir algunas relaciones o principios que conduzcan al objetivo planeado de dar una solución al problema, denominado por Ausubel “*discernimiento*”.

La resolución de problemas es un caso especial de aprendizaje significativo, en la medida que esta tarea requiere incorporar nueva información en la estructura cognitiva del sujeto que la realiza. El problema adquiere una dimensión de actividad de enseñanza /aprendizaje, tanto de conceptos como de habilidades, y evaluadora no solo de dicho aprendizaje sino de los propios mecanismos cognitivos puestos en juego por el educando (Perales, Álvarez, Fernández, García y Gonzáles 2000).

En el marco de esta investigación, un “problema” es una cuestión a la que no es posible contestar por aplicación directa de ningún resultado conocido con anterioridad, sino que para resolverla es preciso poner en juego conocimientos diversos, y buscar relaciones relevantes entre ellos. Pero, además debe ser una cuestión que nos interese, que nos provoque las ganas de resolver, una tarea a la que estemos dispuestos a dedicarle tiempo y esfuerzos. Como consecuencia de todo ello, una vez resuelta nos proporciona una sensación considerable de placer.

Muchos otros autores han definido su idea acerca de lo que significa un problema, En general se coincide en que un problema siempre va acompañado de una incertidumbre y, en ese sentido, se puede llamar resolución del problema al proceso mediante el cual la situación incierta es clarificada mediante la aplicación de conceptos por parte del sujeto que le resuelve (Parra, Simón, Chi y Glaser, citados por Restrepo 2002; Cabral, Hayes, Gil Pérez, Vergnaud, Perales y Palacio, citados por Salvador 2006).

El tipo de problemas propuestos en el marco de nuestra investigación son principalmente reconocidos en el contexto de la metodología de resolución de problemas de “lápiz y papel” (Perales, 1998; Kilpatrick, 1987; Garritz, 2005 y Martínez, Gil, Becerra y Guisasola, 2005). Los cuales se caracterizan por un enunciado que ofrece una formulación clara, llevan consigo una estrategia de planificación, la vía de resolución no es algorítmica y donde los estudiantes, en algunos casos, pueden encontrar varias vías para llegar a la solución, la cual es única.

Según la teoría de Aprendizaje Significativo cuando se realiza la resolución de problemas se adquiere inicialmente un aprendizaje por descubrimiento, el cual es un aprendizaje significativo si el estudiante puede relacionar “*intencionada y sustancialmente*” una proposición contenida en el planteamiento del problema de característica potencialmente significativa con su estructura cognitiva; la relación establecida debe entonces conducir a la obtención de una solución que pueda de igual forma ser relacionada con la estructura cognitiva, lo que indica que también es potencialmente significativa. Esta tarea debe entonces cumplir con las condiciones propuestas por Ausubel:

- Disposición del estudiante para alcanzar el aprendizaje significativo.
- Un material potencialmente significativo (el problema).
- La existencia de subsunsores estables y pertinentes.

Para Garret (citado por Salvador, 2006), “la resolución de problemas puede ser vista como un elemento del pensamiento, pero, probablemente, es más apropiado considerarla como una compleja actividad que involucra pensamiento” (p.10). Al decir que se involucra el pensamiento se corresponde con los aspectos relevantes de la estructura cognitiva, donde generan relaciones entre los contenidos expuestos en el problema y los aspectos relevantes que puedan orientar su resolución. La destreza para resolver problemas, por ser tradicional, se transforma en una de las prácticas más utilizadas en la enseñanza de las ciencias, debe ser una actividad evaluadora tanto del aprendizaje como de los procesos cognitivos que desarrollan los aprendices

Por su parte, Novak (1988) plantea que la resolución de un problema implica además la reorganización de la información almacenada en la estructura cognoscitiva de la persona que lo resuelve, es decir, que hay aprendizaje, al modificarla.

Ausubel (2002) indica que pueden distinguirse dos clases principales de resolución de problemas a todos los niveles de edad:

Un enfoque por ensayo y error: el cual consiste en un conjunto de variaciones, aproximaciones y correcciones que pueden ser aleatorias o sistemáticas de las respuestas y que conducen a una opción de respuesta acertada. Cuando se aprende por

ensayo y error se encuentra que no existe o no es discernible ningún tipo de relaciones significativas que puedan conducir a una respuesta; normalmente ocurre cuando el estudiante se percibe una desviación con respecto a la solución deseada y se le permite realizar aproximaciones y/o correcciones por sí mismo.

Un segundo enfoque, por *discernimiento*, el cual reconoce una “disposición” para el descubrimiento de relaciones significativas que conduce a la solución del problema. Por lo que, este enfoque es un tipo de aprendizaje por descubrimiento significativo, en el cual las disposiciones del problema y los objetivos buscados se relacionan “intencionada y sustancialmente” con la estructura cognitiva; también la resolución de problemas por discernimiento aporta una transformación de la información suministrada a través del “análisis, síntesis, formulación y comprobación de hipótesis”; estos componentes ahondan en que la actividad al ser desarrollada en el aula son referentes de un descubrimiento guiado. El discernimiento como proceso provee un entendimiento de las relaciones que existen entre los medios y los fines de un problema, cuando esto ocurre debe aparecer un conocimiento consciente y disponible, si se hace posible además expresar verbalmente la solución, se posee aún más comprensión de la tarea y su alcance.

Las variables que más influyen en la resolución de problemas de acuerdo con un aprendizaje significativo son: la existencia de un conjunto de conceptos y principios relevantes y pertinentes que se puedan relacionar con los problemas tratados; algunas características personales cognitivas, como: la capacidad de relación, de integración, la diferenciación entre conceptos, la flexibilidad, la capacidad de improvisar, la curiosidad, y el ser tolerante a la frustración. El lenguaje facilita la comunicación e interpretación, lo que conduce a la adquisición de conceptos; además si se posee un dominio para un cierto tipo dado de problema en un contexto homogéneo, este lo favorece, antes de exponer al alumno a problemas de mayor grado de dificultad. Ausubel (2002) menciona que solo clases primitivas de resolución de problemas son posibles sin lenguaje, lo que permite regresar a nuestros problemas químicos, donde existe un alto componente en concepciones abstractas, lo cual exige el empleo de conceptos y símbolos abstractos manipulables, que ayudan a la transformación de la expresión verbal y a refinar el pensamiento. El papel del lenguaje da función al pensamiento y facilita la resolución de problemas, de igual forma que lo hace con la adquisición de conceptos.

Cuando se practica con múltiples problemas de una clase se tiende a mejorar la

técnica, sin embargo, estar expuesto a problemas variados, denominados por Ausubel et al (1983) “problemas heterogéneos” lo desvían de un empeño unidireccional, mientras que alienta al estudiante a continuar alerta, favorece una percepción general lo que lleva a la transferibilidad de una solución; es coherente reconocer que la capacidad para resolver problemas va de la mano con la experiencia que se adquiere al enfrentar problemas.

La inteligencia es reconocida en la teoría de Aprendizaje Significativo como un factor determinante en la capacidad de resolver problemas, se conoce que en el diseño de tests de inteligencia incluyen siempre el razonamiento como un parámetro destacado, de la misma forma lo hace la capacidad de comprensión, la memoria y la capacidad de análisis. Para propósitos de esta investigación se ha decidido no considerar el factor de inteligencia como referente para la descripción de los resultados, por la dificultad que radica en su asignación a un individuo en particular, ya que se considera que todos los estudiantes participantes han avanzado a lo largo de sus estudios en un camino que si bien no es del todo idéntico, implica que han aprobado los cursos previos considerados como requisitos obligatorios para poder cursar las clases de Química Orgánica Uno y Dos.

Ausubel (2002), menciona que si bien, la solución acertada de problemas indica que hay comprensión, la resolución infructuosa no demuestra que falte dicha comprensión, este aspecto alienta a una reflexión personal donde en la tradición de la evaluación escolar solo es bien visto la resolución de problemas exitosa asignando a esta una calificación aprobatoria y dejando reprobado al estudiante que no la alcanza. Cuando se realiza la tarea con éxito mejora la confianza en sí mismo, se es más arriesgado y tendente a improvisar, cuando la tarea es infructuosa se ejercen los efectos contrarios. Sin embargo, fracasos moderados pueden alentar la atención y a considerar otras opciones en busca del propósito. Otros rasgos son considerados en la teoría de Aprendizaje Significativo influyentes en la resolución de problemas: la flexibilidad, la capacidad de formular múltiples hipótesis novedosas, la atención, la sensibilidad al problema, la curiosidad intelectual y la capacidad de integrar ideas.

¿Por qué se deben realizar actividades de resolución de problemas? La respuesta que han dado algunos expertos se apoya en diferentes tipos de razones. Martínez y Varela (1997) proponen los siguientes argumentos:

- *Educativos*: la resolución de problemas constituye un procedimiento activo de aprendizaje donde los alumnos son los protagonistas. Puede resultar una tarea altamente motivadora colaborando eficazmente a modificar las preconcepciones que puedan presentar.
- *Científicos*: los alumnos tienen la ocasión de familiarizarse con el modo en que trabajan los científicos haciéndose conscientes de que la finalidad primordial de la Ciencia es, precisamente, resolver los problemas que el hombre se ha ido planteando en el curso del tiempo. Este tipo de tareas va a favorecer en ellos actitudes científicas como la curiosidad, la perseverancia, etc.
- *Ideológicos*: con actividades de resolución de problemas se pretende que los alumnos traspasen los límites de la escuela y se familiaricen con problemas del mundo real. En este sentido, los problemas que se plantean en la clase deberían ser relevantes desde un punto de vista tecnológico y social.

En el proceso de resolución el sujeto que aprende tiene que movilizar sus conocimientos en un dominio conceptual determinado, a la vez que aplica determinados procesos mentales. El resultado sería, por una parte, una solución y, por otra, un aprendizaje adicional. La resolución de problemas implicaría, tanto una activación y movilización de los conocimientos relevantes, como un aprendizaje de nuevos conocimientos y habilidades (Perales y Cañan, 2000, p. 93).

En la resolución de problemas, muchos investigadores sostienen la misma opinión y defienden la resolución de problemas como medio para promover tal aprendizaje. Los estudiantes en su formación se enfrentan a resolver problemas contextualizados y con diferentes grados de dificultad, junto al profesor intentan ensayar estrategias de solución, que van a contribuir a mejorar sus conocimientos.

Por esto las clases en la cuales predominen estrategias en resolución de problemas deberían generar cambios positivos en los aprendizajes de los estudiantes, promoviendo y consolidando nuevas formas de raciocinio. Los profesores deberían proponer a sus alumnos verdaderos problemas y no ejercicios. Estos auténticos problemas conviene ser diseñados de tal manera que puedan resolverlos a la vez que evolucionan los conceptos previos, el lenguaje y las experiencias que le proporcionan evidencias (García, 2000, p. 57).

En el proceso de resolución de problemas, las preguntas juegan un rol fundamental. Hacer preguntas y proponer problemas forma parte del proceso de hacer ciencias. Las buenas preguntas desarrollan los conocimientos que se pueden utilizar para la resolución de problemas.

Aunque solo se han discutido los posibles beneficios que conlleva la resolución de problemas, es evidente que esta metodología posee también dificultades propias de cada estrategia metodológica, la capacidad de identificarlos y plantear posibles alternativas de solución debe ser una virtud del educador. A continuación, se presentan algunas de las dificultades más relevantes:

- Dificultades en la interpretación del problema (enunciado).
- Dificultades en utilizar conceptos-claves y articular instrumentos de resolución.
- Falta de organización del conocimiento en la memoria de largo-plazo.
- Tendencia de procurar ecuaciones para facilitar la ejecución del problema.
- Falta de motivación, problema sin significado para el alumno.

La comprensión inicial del enunciado del problema es considerada indispensable en todas las propuestas metodológicas que ofrece la investigación educativa. Las diferentes redacciones que puede adoptar un mismo problema constituyen un factor significativo en los resultados obtenidos. Se pueden encontrar dificultades relacionadas con la extensión total o con las diversas frases, con la complejidad gramatical, con el vocabulario utilizado, los cambios de una sola palabra, pueden dificultar la apropiación del problema por el estudiante, así como lo hacen la estructura de las frases o el uso de formas negativas, la presentación de gráficos, de estructuras moleculares, diagramas de energía, imágenes, siglas, unidades, hasta los códigos de colores de muchas representaciones, todo esto se traducen en la utilización del lenguaje, y como cada uno de los estudiantes lo interpreta para poder generar un planteamiento, solución, y comprobación del problema.

Algunas veces se explica el fracaso generalizado de los alumnos en la resolución de problemas señalando que no se comprenden los conceptos y contenidos, que sus conocimientos científicos son deficientes, o que no realizan una lectura comprensiva del enunciado ¿Es posible suponer que los problemas propuestos están fuera de la zona de

desarrollo próximo de los estudiantes?

Fomentar en los alumnos la capacidad de aprender a aprender. Uno de los vehículos más asequibles para llevar a los alumnos a esta habilidad, es la resolución de problemas. El objetivo final de que el alumno aprenda a resolver problemas es que adquiera el hábito de plantearse y resolver problemas como forma de aprender (Azcue et al. 2003, p.128).

Se menciona a menudo que las prácticas educativas han de ir acorde con los tiempos, con la tecnología, pero sobre todo deben estar centradas en el trabajo de los alumnos, para que se transformen en entes activos de su propio aprendizaje y que este sea efectivo, eficiente y competitivo. La función de la escuela es favorecer e impulsar el desarrollo y no debería seguir centrada en el aprendizaje. Este desarrollo tiene que ver con las diversas dimensiones humanas; la primera dimensión está ligada con el pensamiento, la segunda con el afecto, la sociabilidad y los sentimientos, y la última con la praxis y la acción (De Zubiría, 2007, p. 8).

Cuando se menciona que la escuela no debe centrarse en el aprendizaje, se refiere a que no debe dejar de un lado las demás dimensiones del desarrollo humano, puesto que un individuo que solo se culturiza a través de su desarrollo cognitivo académico, pierde su sensibilidad con el mundo, decae en una soledad afectiva, social y espiritual, pierde la capacidad de conmovirse de comunicarse, de compartir experiencias positivas y negativas, propias de todo proceso de desarrollo. Al final se espera que el alumno sea capaz con lo aprendido de resolver problemas en situación.

Estudiar los fenómenos de interés para la ciencia reconociendo que la escuela es la encargada de enseñar y divulgar el conocimiento científico contribuye a interpretar el mundo que nos rodea. La resolución de problemas debe ser una estrategia apropiada a la hora de aprender ciencias, enfrentarse a resolver tareas que requieren planteamientos nuevos, desconocidos, generar nuevas relaciones entre conceptos, ser propositivo, recursivo y creativo, fomentan el aprendizaje significativo

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

CAPÍTULO 4: FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Introducción

Esta tesis ha optado por una investigación cualitativa descriptiva, utiliza el modelo de Estudio de Casos, con una muestra de seis estudiantes de cuarto nivel, matriculados en el programa de Química de la Universidad de Antioquia, empleando en el aula los fundamentos de las teorías del *Aprendizaje Significativo* y *Aprendizaje Significativo Crítico*.

El aula de química es el espacio donde se desarrollan las actividades relacionadas con la comprensión de mecanismos de adición nucleofílica de compuestos carbonílicos y es donde los estudiantes resuelven problemas, ofreciéndoles un ambiente para compartir y debatir significados y aprender y reaprender durante el trabajo grupal e individual que se implementa. La interacción entre estudiantes y profesor, mediada por el lenguaje y el material potencialmente significativo preparado por el docente, favorecen la apropiación de conceptos por los estudiantes. La intervención se ha realizado durante un periodo de dos semestres académicos e incluye, además de las clases, un conjunto de reuniones en grupo e individuales dedicadas al dialogo, resolución de problemas y desarrollo de otras actividades como elaboración de mapas conceptuales o construcción de modelos moleculares.

La percepción del investigador está inmersa en los registros, y al actuar como un observador participante en los espacios de aprendizaje, describe los procedimientos y reflexiones de los estudiantes durante las actividades realizadas en las clases. El enfoque cualitativo descriptivo en el estudio de casos, acompañado de la toma de registros: cuaderno de campo del investigador, bitácora de trabajo, entrevistas, asesorías y resolución de problemas, son actividades que permiten el desarrollo de la metodología de investigación. Los resultados aportan la descripción de cómo cada uno de los estudiantes implementa el lenguaje químico en la resolución de problemas, y pone en acción la representación química; también han permitido indagar sobre la preferencia que tienen sobre los tipos de enunciado de los problemas, además de cómo han evolucionado en la resolución de problemas y sus representaciones. La reflexión sobre estas consideraciones puede ayudar a otros profesores en la formación de sus estudiantes y a la planificación de la enseñanza para cursos de Química Orgánica.

4.2 Metodología cualitativa

La investigación orientada en el campo de metodología cualitativa descriptiva tiene un enfoque etnográfico de estudio de casos, en la modalidad observación participante del investigador. Busca la comprensión de fenómenos a través de una participación activa entre el investigador y los sujetos de la investigación. Procura una explicación descriptiva, interpretativa o evaluativa de los hechos, en vez de alcanzar un algoritmo que intente predecir el comportamiento o regularidad del interés de estudio.

Lo que se pretende investigar cualitativamente depende del proceso de investigación, el investigador es quien crea sus instrumentos y los utiliza con el fin de indagar lo que se quiere comprender; muestra interés por grupos e individuos, el investigador se encuentra inmerso en el fenómeno de interés, observando y registrando, escuchando, buscando significados y procurando la credibilidad de su investigación. Esta metodología de investigación posee una característica fenomenológica de búsqueda de información, donde se pretende una comprensión global del fenómeno estudiado, el cual no se traduce en términos matemáticos, es decir, se busca describir los acontecimientos a través de la interacción misma con el objeto de estudio, compartiendo su desarrollo normal y tomando registros en vivo del comportamiento.

Recordemos que el paradigma cualitativo se caracteriza por:

- Ser inductivo, dado que presenta un diseño de investigación flexible, con interrogantes preliminares, dando la oportunidad de incorporar hallazgos que no se habían considerado inicialmente y que favorecen la comprensión del fenómeno de estudio.
- Tener una perspectiva global del objeto de estudio sin reducirlo a variables. Es decir, no se interesa por estudiar un fenómeno acotándolo, sino que lo estudia teniendo en cuenta todos los elementos que lo rodean.
- Interesarse por comprender, más que establecer relaciones de causa-efecto entre los fenómenos.

- Hacer estudios intensivos de casos. No interesa estudiar una población representativa o un gran conjunto, más bien trata de analizar pocos sujetos, pero en profundidad. No se busca la generalización, sino la especificidad de la realidad observada.
- Considerar al investigador como instrumento de medida. El investigador puede participar en la investigación, incluso ser el sujeto de la investigación, puesto que se considera la introspección como un método válido.
- No probar teorías o hipótesis, más bien generarlas. Aporta la generación de teorías e hipótesis, que abren futuras líneas de investigación.
- Ser sistemático y riguroso.

Un componente fundamental en la metodología cualitativa es la observación participante, la cual se refiere a la introducción del investigador en el escenario de estudio, actuando en la recolección y registro de datos. Según Taylor y Bogdan (1986), “involucra la interacción social entre el investigador y los informantes en el medio de los últimos, y durante la cual se recogen los datos de modo natural y no intrusivo”(p.88).

El interés para los investigadores de captar la realidad a través de la interacción entre investigador y objeto de estudio dará lugar a la obtención de un conjunto de datos descriptivos: la expresión de las personas en palabras habladas o escritas y las descripciones detalladas de los sucesos, son atención del investigador. El observador participa de la situación que está observando, penetra en la experiencia de otros; pretende convertirse en uno más, analizando tanto sus propias intenciones y motivos como los de los demás.

El investigador debe plantearse una serie de cuestiones y estrategias antes y durante su estancia en el lugar de tomas de registros. Una vez decidido el problema central de estudio, tendrá que tomar decisiones acerca de la selección de los escenarios de observación, con quién habla, a quiénes observa, qué herramientas prepara para la próxima visita, cuál es el foco de interés, y sobre el análisis y correcciones de las experiencias de campo, dado que hay eventos que no son posibles revivir por el entorno

particular del día. El investigador tiene la posibilidad de adaptarse a las condiciones y replantear instrumentos para recolectar la información que necesita.

4.3 Estudio de casos

Dada la necesidad de entender las características que acompañan el ámbito del aprendizaje y la enseñanza, se toma la idea de que el investigador se pueda inmiscuir en el seno del problema, viviendo inmerso en el desarrollo del día a día y compartiendo estrechamente con los estudiantes de estudio para poder razonar y comprender los acontecimientos tal cual suceden, consistente en una descripción y análisis detallados.

El interés central de esta investigación está en interpretar los significados que los sujetos atribuyen a sus acciones en una realidad socialmente construida, a través de una observación participante; es decir, donde el investigador está inmerso en el fenómeno de interés. Los datos obtenidos a través de la participación activa son de naturaleza cualitativa y son analizados posteriormente. Las hipótesis son generadas durante el proceso investigativo. El investigador busca universales concretos alcanzados a través del estudio profundo de casos particulares y de la comparación con otros estudiados también realizados con gran profundidad. A través de una narrativa detallada, el investigador busca credibilidad para sus modelos interpretativos (Moreira, 2002, p. 3).

(...) el estudio de caso encaja en una tradición holística de investigación según la cual las características de una parte son determinadas grandemente por el todo al cual pertenece. La comprensión de las partes requiere la comprensión de sus interrelaciones en el todo al cual pertenece. Es una visión sistémica que presupone que los elementos de un evento educativo, por ejemplo, son interdependientes e inseparables y un cambio en un elemento implica un cambio en todo lo demás (Sturman, 1988, p.61).

El estudio de casos se compromete con la investigación de un conjunto de acontecimientos para un caso particular, lo que indica que el objeto estudiado es singular, único. Las características esenciales del estudio de casos son comentadas por Serrano (1998) y Merriam (citado por Arnal, Rincón y Latorre, 1992), los cuales recomiendan su utilización en un ámbito escolar donde se pretende generar hipótesis y descubrimientos centrando el interés en un grupo de estudiantes.

Las propiedades esenciales de un estudio de casos cualitativo son: la *particularización* (se centra en una situación, evento, programa o fenómeno particular), la *descripción* (el producto final es una descripción rica y densa del objeto de estudio) y la *inducción* (se basa en el razonamiento inductivo; las teorías, los conceptos o las hipótesis surgen de un examen de los datos fundados en el contexto mismo) (Serrano, 1998).

“El estudio de casos es particular, descriptivo, heurístico e inductivo” (Merriam, citado por Arnal et al., 1992, p. 207). El tipo de estudio de caso seleccionado es múltiple, dado que se pretende estudiar a seis estudiantes pertenecientes a dos grupos universitarios, matriculados en cursos iguales, con el fin de obtener información descriptiva e interpretativa de cada uno de ellos.

El estudio de casos también presenta dificultades, las cuales resultan muy importantes en el momento de diseñar la investigación. Kratochwill (citado por Arnal et al. 1992) resume las siguientes: “a) falta de atención a la validez, tanto interna como externa; b) sus limitadas opciones de diseño; y c) la dificultad existente para generalizar los hallazgos” (p. 209).

4.4 Planificación de la investigación

La primera etapa en el proceso de investigación consistió en la estructuración y escritura del proyecto, el cual incluye, como ya se ha mencionado, la idea de estudiar el significado atribuido por los estudiantes a conceptos relacionados con la ‘reactividad química, adición nucleofílica al grupo carbonilo’, durante la resolución de problemas.

Inicialmente el profesor/investigador diseñó una actividad denominada “indagación preliminar” para averiguar los conceptos previos y las representaciones asociadas con el uso del lenguaje químico que los estudiantes tienen antes de iniciar el curso de Química Orgánica Uno; esta actividad resultó útil para definir algunos parámetros para la selección del grupo de estudiantes que participarían en el proyecto. Posteriormente, se planificó la enseñanza consistente, entre otros aspectos contemplados en el capítulo 5, en la selección de veinte problemas sobre la temática de la investigación para que fueran resueltos por los estudiantes durante las clases. Éstos realizan un diario semiestructurado, registrando personalmente lo acontecido durante el

desarrollo de todas las actividades realizadas en las clases. Al terminar esta intervención, que comprende tres meses de trabajo junto al grupo, fue posible obtener algunos resultados, realizar el análisis y generar las primeras descripciones de cada uno de los cuatro casos seleccionados.

Al comienzo del segundo semestre de la investigación se realizó la introducción de nuevos conceptos, acompañado de la asignación de nuevos problemas, la construcción de mapas conceptuales y encuentros programados para discutir el desempeño en las actividades, mediante entrevistas del profesor a cada estudiante del primer grupo de los cuatro casos; este período comprendió dos tercios del segundo semestre. A lo largo del proceso de investigación también fueron utilizadas otras actividades, como la elaboración de Sudoku de grupos funcionales, la interacción con el juego Químimo (el cual permite la apropiación de significados para los símbolos de elementos químicos, sus nombres, valencias, y números atómicos) y la construcción de modelos moleculares. Por último, se dedicaron los mayores esfuerzos en transcribir la recolección de registros en datos que pudieran servir para realizar el análisis de resultados y las descripciones finales para alcanzar la construcción del informe final.

Para alcanzar los resultados, se hace necesario considerar algunas de las circunstancias favorables y desfavorables que se han de presentar en el proceso, y luego proponer de modo cronológico una sistemática de actividades que permitan redirigir los objetivos de la investigación, situación normal para la metodología cualitativa seleccionada. Las actividades fueron propuestas de acuerdo con la experiencia del investigador, donde el proceso se amolda al devenir de la investigación y se hace necesario según las demandas que genera ya sea cambiar, reestructurar, incluir, reemplazar actividades de intervención y/o recolección de registros. Es importante reconocer que cada día en el proceso de investigación se presentan unas oportunidades únicas e irrepetibles y solo la experiencia que va adquiriendo el investigador le permite extraer todos los aspectos valiosos a ser transformados en análisis y resultados coherentes con la metodología propuesta.

En la figura 4.1 se presentan esquemáticamente, en dos bloques, las etapas seguidas en el proceso de la investigación.

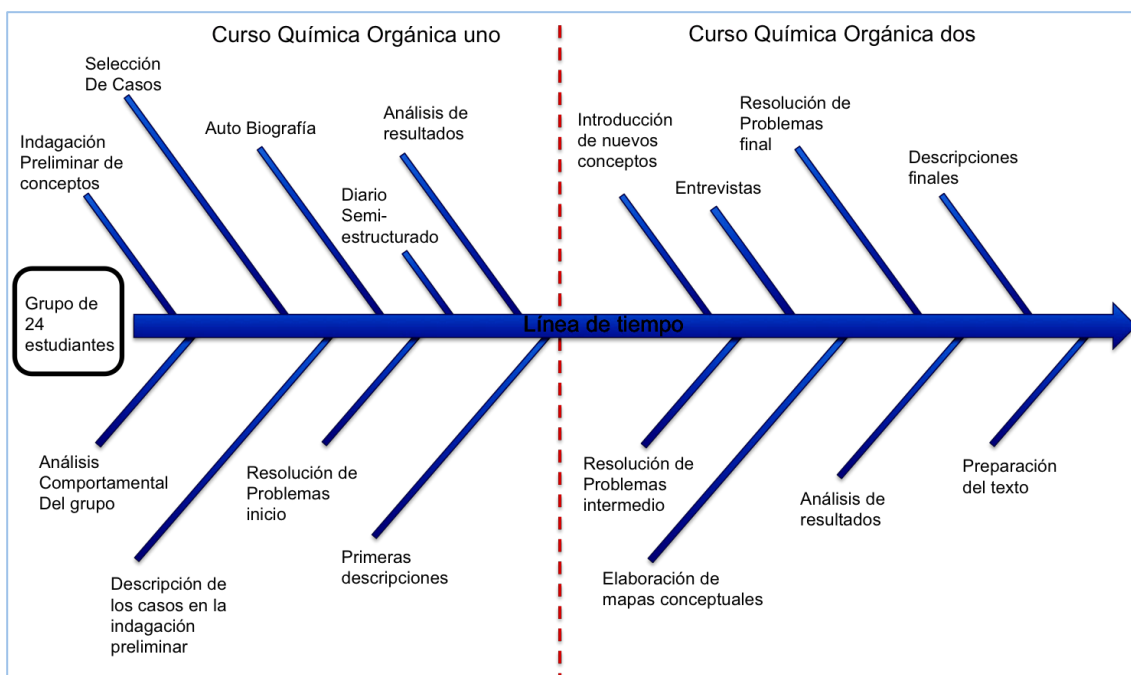


Figura 4.1. Representación esquemática del proceso de la investigación

4.5 Contexto

4.5.1 Contexto del centro escolar y su entorno

El programa de Química pertenece a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia, ubicada en el municipio de Medellín, departamento de Antioquia, país Colombia. La universidad fue fundada en 1803, y es reconocida por ser una de las mejores del país, también se ha destacado como un importante centro de investigación y cultura. Cuenta con cerca de 130 programas educativos de pregrado, 57 de maestrías y 23 de doctorado, los cuales se imparten en varias sedes regionales del departamento de Antioquia. La población estudiantil asciende a unos 37.000 estudiantes y el campus universitario comprende un área total de 28.7467 m² y un área construida de 13.3942 m²; está ubicado en el centro de la capital del Departamento, y solo en esta se ofrece el programa de Química. En los alrededores se encuentran otras instituciones universitarias, centros de emprendimiento, el planetario municipal, el Jardín Botánico, el parque científico Explora, un par de centros comerciales y varios conjuntos residenciales que en su mayoría son ocupados por estudiantes de otros departamentos del país.

3.6 Contexto curricular

El programa de Química está constituido por diez semestres académicos en los cuales se imparten asignaturas de las áreas: Matemáticas, Física, Biología, Ciencias Humanas, Administración y Química. Particularmente las asignaturas de Química Orgánica Uno y Química Orgánica Dos pertenecen a los semestres cuarto y quinto respectivamente, con una intensidad de cuatro horas/semana de docencia directa; cada asignatura está acompañada de un curso de laboratorio que es impartido una vez a la semana con intensidad de cuatro horas; las practicas desarrolladas son directamente relacionadas con los tópicos de los cursos teóricos, sin embargo, como los profesores no son necesariamente los mismos puede ocurrir un desfase en cuanto a la sincronía de los mismos.

El curso de Química Orgánica Uno es un curso introductorio del área, que pretende aportar los conocimientos propios del lenguaje químico utilizado en la química orgánica; son discutidos temas como la nomenclatura de compuestos orgánicos, grupos funcionales, estereoquímica y principios de reactividad. El curso de Química Orgánica Dos comprende una discusión de los principios de reactividad clasificado en grupos funcionales, adiciones y sustituciones nucleofílicas al grupo carbonilo, reacciones de enoles y enolatos, sustituciones y eliminaciones nucleofílicas sobre carbonos saturados y reactividad de compuestos aromáticos.

4.6 Contexto pedagógico

Los estudiantes conocen desde el primer día de clases el contenido pormenorizado de cada Curso, incluyendo la evaluación que se da en común acuerdo con el docente.

El curso de Química Orgánica Uno se divide en cuatro unidades generales:

- Introducción a la química orgánica, conceptos fundamentales.
- Grupos funcionales, nomenclatura de compuestos orgánicos y análisis conformacional.
- Estereoquímica.
- Principios de reactividad.

Para el curso de Química Orgánica Dos se presentan las siguientes unidades temáticas:

- Reacciones de adición y sustitución al grupo carbonilo.
- Reacciones para enoles y enolatos.
- Reacciones de sustitución y eliminación a carbonos saturados.
- Reacciones de compuestos aromáticos.

La estructura general de las clases comprende tres momentos: inicialmente se presentan a los estudiantes los contenidos conceptuales, utilizando diapositivas y entregándoles un documento explicando el significado distintos conceptos químicos, su relación y su aplicación en distintos contextos, a manera de material potencialmente significativo; en segunda instancia se discuten algunas técnicas relacionadas con la resolución de problemas, se dibujan diagramas y mapas conceptuales que ayudan a relacionar y comprender antiguos y nuevos conceptos y, por último, se dedica un tiempo al trabajo colaborativo o individual resolviendo problemas, atendiendo preguntas y discutiendo y mediando significados en el ambiente de reactividad química. A continuación, se expone más en detalle la propuesta didáctica del aula de clase.

5.6 Estudiantes participantes en la investigación

Los estudiantes participantes están matriculados en el cuarto y quinto nivel del Programa de Química del Instituto de Química de la Universidad de Antioquia, concretamente en las asignaturas ‘Química Orgánica Uno’ y ‘Química Orgánica Dos’. Antes de comenzar la asignatura ‘Química Orgánica Uno’, según el pensum, han cursado diez cursos del programa académico propio del área de Química, como se ilustra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Cursos teóricos, experimentales y teórico-experimentales, de los tres primeros semestres del Programa de Química

Cursos teóricos	Cursos experimentales	Curso teórico-experimental
<ul style="list-style-type: none"> • Soluciones y estequiometría • Cinética y equilibrio químico • Estructura y enlace químico • Química Analítica uno • Química Inorgánica uno 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas de Laboratorio Químico • Laboratorio de Cinética y Equilibrio Químico • Laboratorio de Química Analítica • Laboratorio de Química Inorgánica uno 	<ul style="list-style-type: none"> • Separaciones químicas

En el primer nivel se matriculan de los cursos Soluciones y Estequiometría y Técnicas de Laboratorio Químico; en el segundo nivel de los cursos Cinética y Equilibrio Químico, Estructura y Enlace Químico, Laboratorio de Cinética y Equilibrio Químico; y, en el tercer nivel, de Química Analítica I, Química Inorgánica I, Laboratorio de Química Analítica Uno, Laboratorio de Química Inorgánica Uno y Separaciones Químicas. Cursar y aprobar los anteriores Cursos es considerada una situación ideal en cuanto a la experiencia química. Sin embargo, los estudiantes según su rendimiento y flexibilidad del pensum pueden llegar a matricularse del curso de Química Orgánica Uno hasta con solo cuatro de los diez cursos anteriores mencionados, lo cual como se discutirá posteriormente muestra la heterogeneidad del grupo de estudiantes muestra de esta investigación.

Para seleccionar los participantes en la investigación se establecieron dos criterios fundamentales: a) considerar distintos niveles de desarrollo conceptual y apropiación de significados en términos del lenguaje químico de los estudiantes, identificándolos a través de una prueba diseñada para tal propósito, realizada al comienzo del curso y b) la disposición personal a participar en el proyecto de investigación, después del primer mes de clases, y antes de comenzar las actividades correspondientes a los capítulos de estudio sobre reactividad química. No obstante, el primer criterio no pudo considerarse en la selección de los casos, pues solo se ofrecieron voluntariamente a participar en el proyecto cuatro estudiantes

En consecuencia, el primer Estudio de Casos se realizó con cuatro estudiantes del programa de Química, con edades entre los 19 y 21 años, los cuáles firmaron un compromiso para participar en la investigación durante todo el periodo establecido (ver anexo A). Posteriormente, en un segundo Estudio, se incluyeron otros dos estudiantes que también se presentaron voluntariamente. Estos seis estudiantes, como el resto de sus compañeros matriculados en los Cursos de ‘Química Orgánica Uno’ y ‘Química Orgánica Dos’ participaron en todas las actividades y pruebas de evaluación diseñadas por el profesor para la enseñanza de dichas asignaturas; pero, además, realizaron entrevistas, diálogos y cuestionamientos particulares específicos contemplados en el diseño del Estudio de Caso.

4.7 Instrumentos de toma de registros

La toma de registros procede de la resolución de los problemas propuestos, algunos realizados por los estudiantes de modo individual y otros de forma colaborativa, de la elaboración de mapas conceptuales, de las entrevistas, de la bitácora de clases y de las grabaciones (audio y vídeo) realizadas por el investigador.

Un instrumento de recolección de registros es cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información (Reyes, 2005). La función del instrumento es ordenar la estrategia realizada previamente a la investigación, relacionada con los aportes del marco teórico de experiencias de otros investigadores y la intención del investigador, así la investigación debe alcanzar la correspondencia entre teoría, desarrollo y resultados.

La observación científica debe seguir algunos principios básicos:

- Tener un propósito específico.
- Ser planeada cuidadosa y sistemáticamente.
- Llevarse, por escrito, un control cuidadoso de la misma.
- Especificarse su duración y frecuencia.
- Seguir los principios básicos de validez y fiabilidad.

Se incluye en esta investigación una etapa de observación interna o participante, donde el investigador está inmerso en el grupo, estableciendo un estrecho contacto con sus estudiantes, compartiendo discusiones, conversaciones; esta etapa corresponde a los cursos de Química Orgánica Uno y Química Orgánica Dos, además incluye la observación externa directa en actividades de resolución de problemas, recolectando registros y estando atento a muchos detalles que requieren de un registro inmediato y que pueden ser omitidos en los horarios de clase cuando su ocupación como profesor no lo permite.

Para alcanzar la comprensión en torno al desempeño de los estudiantes se utilizan entrevistas, realizadas al finalizar las intervenciones de aula, a través de las cuales se pretende identificar el avance en la implementación que los estudiantes dan al lenguaje químico y a los conceptos involucrados en la resolución de problemas.

La entrevista cualitativa da lugar a la conversación programada entre investigador e investigados para comprender, a través de las propias palabras de los sujetos, las perspectivas, problemas, soluciones, experiencias que ellos tienen respecto a sus vidas (Taylor y Bogdan, 1986). Para este trabajo interesa lograr una conversación con el entrevistado que permita conseguir que este se exprese con sus propias palabras y comparta de forma abierta sus pensamientos y dificultades en los problemas tratados. El entrevistador, además de explicar al inicio de cada entrevista, el objetivo de ésta y su necesidad para el desarrollo de la investigación, debe rescatar, siempre que sea posible y adecuado, lo que el entrevistado dice, para resaltar la importancia de su participación en el estudio.

La técnica de la entrevista se utiliza como fuente de información directa de los investigados en diferentes momentos de la investigación, particularmente con la finalidad de:

- a) Buscar información general durante el proceso de instrucción.
- b) Indagar significados antes, durante y después del proceso de resolución de problemas.
- c) Ayudar a comprender inconsistencias producidas durante la observación, el análisis de registros y el cuaderno de notas.

El registro de datos en las entrevistas se ha de realizar usando grabación digital; así se permitirá captar una información más detallada que si solamente se utiliza la memoria, ya que se pueden recuperar las palabras exactas del entrevistado. Es recomendable además tomar notas durante la entrevista, pues ayudan a estructurar lo mencionado por ambas partes, así como analizar los datos grabados. Las entrevistas incluyen preguntas con las cuales se pretende reconocer elementos propios del lenguaje natural y del lenguaje químico utilizados en los problemas por cada entrevistado y preguntas para cuando sea necesario aclarar lo que el entrevistado está expresando.

La tabla 4.2 contiene el grupo de estrategias de toma de registros que son tradicionalmente utilizadas en la metodología de investigación cualitativa. Las actividades evaluativas tales como exámenes cortos, parciales, tareas, trabajos en grupo dentro del aula, elaboración de mapas conceptuales, presentaciones orales, fueron

utilizadas para la recolección de registros, posteriores al análisis y transformación de los datos a ser incluidos en las etapas descriptivas de la investigación.

Tabla 4.2. Estrategias de toma de registros (Tomado de Pérez, 1994, p.15-70)

Documentos personales	Registros Mecánicos	Registros narrativos	Otras técnicas
<i>Autobiografía estructurada:</i> permite conocer algunos aspectos relevantes del estudiante, actividades que realiza, interés por la ciencia, la lectura, hobbies, actividades de tiempo libre, ayuda a conocer al ser humano.	<i>Pruebas fotográficas:</i> proporciona elementos de ayuda para el debate, recuerdo, o discusión. <i>Análisis detenido de un determinado suceso.</i>	<i>Anecdotario:</i> consiste en anotar y registrar detalles en el momento donde ocurre un suceso; es descriptivo con respecto al sujeto observado, no incluye ningún enunciado interpretativo.	<i>Elaboración de mapas conceptuales:</i> herramienta metacognitiva para identificar conceptos y relaciones entre ellos; implica una estructura jerarquizada de grandes cuerpos de conocimiento.
<i>Diario semiestructurado:</i> pretende construir un reporte personal sobre las actividades relacionadas con el curso, tiempo de estudio, horarios, lugares, estudio solitario o en compañía, discusiones, asesorías, entre otros.	<i>Audio:</i> herramienta de diagnóstico de una situación. Proporciona gran versatilidad y flexibilidad para la toma de registros.	<i>Notas de campo:</i> es una forma narrativo-descriptiva de relatar observaciones, reflexiones y acciones, puede incluir interpretaciones.	<i>Escala de apreciación descriptiva:</i> permite una relación de acontecimientos concretos, ante los cuales la respuesta se registra mediante un código de valoración preestablecido. Cuantifican las impresiones de la observación.
	<i>Vídeo:</i> Permite un análisis detallado de determinados comportamientos. Permite volver a las situaciones del aula o entrevista una y otra vez.	<i>La entrevista:</i> le permite al investigador según sus intereses obtener respuestas coherentes por parte del entrevistado guiando la recolección de registros.	<i>Comentario en vivo:</i> consiste en observar la ejecución de una tarea y el comportamiento, colectando información sobre lo que está ocurriendo.

Erickson (1989) menciona tres tipos de contenido para el informe:

- *Descripción particular.* Se desarrollará una descripción analítica con citas que ejemplifiquen los datos. En este sentido, el retrato pormenorizado y bien

construido suministrará pruebas adecuadas de que el autor ha realizado un análisis válido.

- *Descripción general.* Su función está relacionada con la posibilidad de generalización.
- *Comentario interpretativo.* Se refiere a la interpretación que precede y sigue a cada descripción particular, es decir, a la discusión teórica que señala la significación más general de los patrones identificados en los acontecimientos mencionados y a la reseña de los cambios que se produjeron en el transcurso de la indagación (p. 178).

El lugar seleccionado para la resolución de problemas químicos, orientados a comprender la reactividad química de compuestos químicos de la familia del grupo funcional carbonilo, es el aula de clase donde el profesor propone las siguientes situaciones:

- Problemas trabajados en grupos de dos o tres estudiantes en horario de clase y extra-clase.
- Problemas trabajados individualmente en horario de clase y extra-clase.
- Problemas trabajados en pruebas de evaluación.

La resolución de problemas en grupos de trabajo ayuda a la familiarización y discusión de los aspectos: planteamiento, solución, y comprobación de problemas químicos, involucrando el lenguaje natural y el químico utilizado en cada etapa como mediador. De la misma forma se debe favorecer la resolución de problemas de forma individual, donde cada estudiante utiliza sus herramientas de lenguaje y explicita sus dificultades, para obtener registros específicos de cada alumno, siendo consecuente con el modelo de casos. Los estudiantes reciben explicación acerca de la construcción de mapas conceptuales (Novak y Gowin, 1988; Moreira, 2000a), su importancia para el aprendizaje y la organización jerárquica de los conceptos y las relaciones entre estos.

Finalmente, el registro y percepción del investigador se realiza como observador participante en situación de enseñanza, durante el desarrollo de las clases y de las actividades propias del trabajo autónomo y grupal.

4.8 Criterios para el análisis de los registros

Las actividades propias para la obtención de registros y datos se logran mediante el desarrollo de una intervención de aula durante dos periodos académicos, en los semestres dos de 2016 y uno de 2017. Las actividades dieron comienzo con la matrícula de un grupo de 24 estudiantes en el curso de Química Orgánica Uno. La primera intervención de aula se realizó el primer día de clases con una primera prueba, denominada ‘Indagación preliminar de conceptos’, que fue establecida con el doble objetivo de obtener parámetros para la selección de los Casos a investigar y para averiguar algunos preconceptos que deberían haber sido aprendidos en los cursos anteriores al curso de Química Orgánica I, de los cuales se hablará con mayor profundidad en el capítulo siguiente.

La indagación preliminar consistió en responder individualmente, en el primer día de clases, los 24 estudiantes del grupo a diez preguntas. Permitted realizar un análisis comportamental del grupo y alcanzar una primera aproximación sobre la utilización del lenguaje químico en términos de: símbolos químicos, fórmulas químicas moleculares, fórmulas estructurales, ecuaciones químicas y representaciones. En el capítulo 6 de análisis y resultados se presentan las respuestas, que nos ayudaron a comprender las relaciones entre la experiencia adquirida en los cursos previos en el área de Química y su desempeño en la prueba preliminar; adicionalmente se identificaron los aspectos relativos al lenguaje químico utilizado en las respuestas.

Una vez seleccionados los casos se realiza un estudio acerca de su participación en la indagación preliminar, el cual consiste en identificar su posición desde una apreciación cuantitativa frente al grupo completo del curso de Química Orgánica Uno, y relacionar su experiencia en horas de estudio con dicha apreciación.

En la semana doce, para acercarse al comportamiento académico extra-clase de los estudiantes, el investigador propone realizar un diario semiestructurado, a lo largo del periodo que comprende la preparación de una prueba parcial, para evidenciar algunos aspectos del comportamiento y dedicación personal en el compromiso académico al preparar un examen parcial del curso de Química Orgánica Uno.

La siguiente etapa comprende la resolución de problemas químicos asociados con la reactividad química adición nucleofílica al grupo carbonilo de aldehídos y cetonas,

establecida entre las semanas 12 a la 28. Son propuestos un conjunto de 20 problemas para ser resueltos a lo largo de la investigación en orden creciente de dificultad, relativo al grado de abstracción y de generalidad de los conceptos que deben ser utilizados en cada etapa.

4.9 Rúbricas para la evaluación del desempeño de los estudiantes

Las rúbricas proceden de un intento por reconocer información valiosa sobre el proceso de aprendizaje desarrollado por los estudiantes, también han permitido ordenar un conjunto de criterios para el momento de evaluar, lo que permite valorar el logro del aprendizaje, presentado en un conjunto de categorías para cada una de las rúbricas, que establecen las competencias de los estudiantes en torno al uso del lenguaje químico, a la elaboración de mapas conceptuales y para establecer el dominio de comprensión conceptual en el proceso de Resolución de Problemas.

Las rúbricas constituyen un proceso reflexivo para el profesor, que nos orientan para inferir qué habilidades adquieren y cómo están aprendiendo los estudiantes, pudiendo utilizarlas no solamente para calificarlos, sino más bien como instrumentos al organizar para cada una, un conjunto de categorías para la asignación de una puntuación que recoge la interpretación del investigador a lo largo del proceso de investigación.

4.9.1 Dominio del uso del lenguaje químico

Para evaluar el uso del lenguaje químico de los estudiantes se utilizó la rúbrica de la tabla 4.3. Las cuatro categorías: *Uso básico de símbolos*, *Interpretar*, *Representar* y *Comunicar* se utilizan como descriptores para analizar el grado de dominio del uso del lenguaje químico, cada uno informa respectivamente sobre la apropiación oral básica de los símbolos, la capacidad de leer e interpretar los símbolos, de representar los símbolos, y de compartir y socializar información. Estas categorías fueron establecidas a partir de la reflexión del profesor en su intención de comprender y poder describir la evolución en el uso del lenguaje químico por parte de los estudiantes, la puntuación se encuentra en un rango de entre 1 y 4 asociados a los descriptores deficiente, regular, bueno y excelente respectivamente; la sumatoria total de la puntuación se clasifica en uno de cuatro niveles según la percepción del investigador y refleja una idea global del grado de avance logrado por cada estudiante.

Tabla 4.3 Rúbrica para analizar el dominio del uso del lenguaje químico

Categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico			
Excelente 4 puntos	Bueno 3 puntos	Regular 2 puntos	Deficiente 1 punto
Categorías	Descripción		Puntuación
Uso básico de símbolos	<i>Capacidad de apropiación oral básica de los símbolos.</i> - Dispone de un vocabulario de palabras y es capaz de mencionarlas en conversaciones y expresarlas en oraciones.		
	- Es capaz de referenciar términos químicos en las entrevistas.		
Interpretar	<i>Capacidad de leer e interpretar los símbolos.</i> - Es capaz de identificar representaciones moleculares incompletas o erróneas.		
	- Es capaz de conectar palabras en frases con contenido de lenguaje natural y lenguaje químico.		
	- Es capaz de inferir información gráfica proveniente de representaciones estructurales.		
Representar	<i>Capacidad de representar los símbolos.</i> - Es capaz de dibujar adecuadamente estructuras químicas.		
	- Es capaz de utilizar diferentes tipos de representaciones moleculares.		
	- Es capaz de articular frases y declaraciones que contengan elementos del lenguaje químico.		
Comunicar	<i>Capacidad de compartir y socializar información.</i> - Es capaz de persuadir opiniones del profesor y compañeros durante el diálogo.		
	- Es capaz de describir procedimientos en la resolución de problemas.		
	- Es capaz de dar explicaciones y razonamientos durante la puesta en común de la resolución de problemas.		
PUNTUACIÓN TOTAL			
Nivel 1: 1 a 11 puntos; Nivel 2: 12 a 22 puntos Nivel 3: 23 a 33 puntos; Nivel 4: 34 a 44 puntos			NIVEL ALCANZADO

4.9.2 Evaluación de los mapas conceptuales

Para evaluar los mapas conceptuales realizados por los estudiantes se utilizó la rúbrica de la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Rúbrica para evaluar los mapas conceptuales.

Criterios a evaluar	Muy bueno 4 puntos	Bueno 3 puntos	Suficiente 2 puntos	Insuficiente 1 punto	Calificación
Concepto principal	El concepto principal es adecuado y pertinente con el tema.	El concepto principal es relevante dentro del tema.	El concepto principal pertenece al tema, pero no es el más adecuado.	El concepto principal no tiene relación con el tema.	
Conceptos subordinados	Incluye todos los conceptos importantes que representa la información principal del tema. No repite conceptos	Incluye la mayoría de los conceptos importantes que representan la información principal del tema.	Faltan conceptos importantes que representan la información principal del tema. Repite algún concepto.	Incluye solo algunos de los conceptos importantes que representan la información principal del tema, faltan algunos significativos.	
Palabras de enlace y proposiciones	La mayor parte de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema y representan la información principal.	Algunas de las proposiciones son invalidadas o no representan la información principal del tema.	Solo algunas de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema.	Presenta proposiciones inválidas de acuerdo al tema con enlaces que describen una relación inexistente, o afirmaciones falsas o vagas.	
Relaciones cruzadas y Creatividad	El mapa conceptual integra relaciones relevantes creativas y novedosas.	El mapa conceptual muestra relaciones cruzadas adecuadas y pertinentes.	El mapa conceptual presenta relaciones cruzadas, pero un tanto irrelevantes respecto de la información principal del tema.	No presenta relaciones cruzadas entre conceptos.	
Jerarquía	Todos los conceptos están ordenados jerárquicamente. (sin ser alguno de ellos un ejemplo)	Muchos de los conceptos están ordenados jerárquicamente, (sin ser alguno de ellos un ejemplo).	Algunos de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (alguno de ellos es ejemplo).	La mayoría de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (muchos de ellos son ejemplos).	
Estructura (complejidad estructural)	Elaboración global, coherente, precisa, diferenciada y de fácil interpretación	Elaboración global, clara, algo diferenciada y de aceptable interpretación.	Elaboración global, equilibrada, no diferenciada, y de regular interpretación.	Elaboración lineal, con secuencias de oraciones largas, o presenta una estructura desorganizada, simple, o difícil de interpretar.	
PUNTAJE TOTAL					
Nivel 1: 1 a 6 puntos; Nivel 2: 7 a 12 puntos Nivel 3: 13 a 18 puntos; Nivel 4: 19 a 24 puntos					NIVEL ALCANZADO

La rúbrica incluye un conjunto de seis criterios de evaluación que permiten describir el desempeño de los estudiantes a la hora de construir sus mapas conceptuales. Para su elaboración fueron necesarias algunas entrevistas y explicaciones, y posteriormente la interpretación para las relaciones de conceptos, clases y número total de estos. Al final se propone una asignación de puntaje relacionado con una característica, a saber: insuficiente 1 punto, suficiente 2 puntos, bueno 3 puntos y muy bueno 4 puntos; la sumatoria total de la puntuación se clasifica de igual forma en uno de cuatro niveles según la percepción del investigador y refleja una idea global del grado de calidad logrado por cada estudiante en la elaboración de los mapas conceptuales.

4.1 Dominio de comprensión conceptual

En la tabla 4.5 se presenta la rúbrica que se ha utilizado para establecer el dominio de comprensión conceptual de los estudiantes. Está basada en la última taxonomía de Bloom (Fowler, 2002), la cual establece que el dominio del conocimiento cognitivo se organiza en una escala de creciente complejidad; comienza con el nivel *identificar* y *clasificar* que incluye el reconocimiento e identificación de símbolos representarlos y clasificar la información; continúa con el nivel *explicar* y *sintetizar* que requiere establecer relaciones entre los conceptos, jerarquizarlos, organizarlos y establecer generalizaciones.; sigue con el nivel *analizar* y *aplicar* donde se debe reconocer los componentes del conocimiento adquirido (hechos, técnicas y reglas) , entender cómo funciona, saber utilizarlo en distintos contextos resolviendo problemas; .y, por último, el nivel *evaluar* asociado con un pensamiento crítico del conocimiento y valoración de su procedimiento, por ejemplo, hacer juicios en base a criterios y estándares utilizando la comprobación y la crítica, y el más complejo, *crear*, donde se debe ser capaz de utilizar todo el conocimiento aprendido para realizar nuevas construcciones o modificaciones.

Más recientemente se ha incorporado a la capacidad *crear* otros dos nuevos componentes del último nivel, *comunicar* y *colaborar*, la triada conocida como las 3C que suponen el estándar más alto de la clasificación taxonómica, funcionan como las más altas habilidades del pensamiento.

Con la rúbrica se pretende identificar a los estudiantes en un nivel determinado de dominio de comprensión conceptual, analizando las capacidades que han desarrollado en el proceso de enseñanza y aprendizaje, relacionadas con los criterios seleccionados.

Tabla 4.5 Rúbrica para analizar el dominio de la comprensión conceptual

Criterios y características de los niveles de dominio de comprensión conceptual	
Criterios	Capacidades
Identificar Clasificar	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad para reconocer e identificar símbolos del lenguaje químico a partir de diferentes registros de representación simbólica. - Capacidad para representar signos químicos convertidos en símbolos y otorgarles significados. - Capacidad para clasificar información.
Explicar Sintetizar	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad para explicar el proceso seguido en la resolución de problemas. - Capacidad para establecer relaciones entre los conceptos químicos, jerarquizarlos, organizarlos y establecer generalizaciones. - Capacidad para sintetizar información.
Analizar Aplicar	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de análisis crítico y reflexivo de los enunciados de los problemas. - Capacidad para resolver de forma adecuada problemas. - Capacidad para implementar nuevos conceptos y nuevas relaciones significativas. - Capacidad para reflexionar acerca de los razonamientos que se realizan.
Evaluar	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad para argumentar de forma coherente y precisa el proceso más adecuado para la resolución de problemas. - Capacidad para hacer una valoración personal y social de la utilidad de la comprensión de los conceptos químicos aprendidos. - Capacidad para valorar y criticar los resultados y conclusiones obtenidos

Con la pretensión de cuantificar el grado de dominio de la comprensión conceptual se creó la escala de valoración de la tabla 4.6, fijando puntos (de 1: deficiente a 4: excelente) para cada uno de los criterios que conforman la comprensión y estableciendo cuatro niveles de dominio de la comprensión conceptual como resultado final.

Tabla 4.6 Escala para calificar la comprensión conceptual y niveles de dominio

Escala de valoración para cada criterio	EXCELENTE 4 puntos	BUENO 3 puntos	REGULAR 2 puntos	DEFICIENTE 1 punto
Niveles del grado dominio de la comprensión conceptual	Nivel 1 (de 1 a 4 puntos)	Nivel 2 (de 5 a 8 puntos)	Nivel 3 (de 9 a 12 puntos)	Nivel 4 (de 13 a 16 puntos)

CAPÍTULO 5

PROPUESTA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

CAPÍTULO 5: PROPUESTA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

5.1 Introducción

En este capítulo se presenta la propuesta didáctica de enseñanza que fue utilizada durante los dos periodos académicos que comprenden los cursos de Química Orgánica Uno y Dos para el desarrollo de la investigación.

Los cursos fueron seleccionados por su importancia en la formación profesional de los futuros químicos. Los conceptos aquí tratados se transforman en esenciales inicialmente para el curso de Química Orgánica Uno y transversales para muchos de los cursos posteriores. Este curso funciona como el primer acercamiento al aprendizaje y a la comprensión del lenguaje químico en los conceptos alusivos a la reactividad química.

También se describen los materiales potencialmente significativos construidos y los adaptados de otros autores, además de su implementación a lo largo del proceso de investigación. La unión de las teorías de Aprendizaje Significativo de Ausubel, Aprendizaje Significativo Crítico de Moreira e Interacción Social de Vigotsky ofrecen un marco explicativo para analizar el aprendizaje alcanzado por los estudiantes tras la implementación de esta propuesta didáctica.

5.2 Organización y diseño de la propuesta de intervención didáctica

Como se ha señalado en el capítulo 3, numerosos investigadores se han preocupado por las dificultades asociadas con la asimilación de conceptos y sus representaciones relativas a la reactividad química (Grove et al., 2012, Bhattacharyya, 2013; Williams y Shaffer, 2016 y Flynn y Ogilvie, 2015). Particularmente, Ferguson y Bodner (2008), Bhattacharyya y Bodner (2005) Williams, Shaffer (2016), Flynn y Featherstone (2017), Galloway et al., (2017) y Galloway et al., (2019) exaltan la importancia de una adecuada utilización de flechas curvas para la representación de mecanismos de reacción y la asignación de electrones no enlazantes. También mencionan dificultades de los estudiantes en la asignación de cargas en la formación de intermediarios de reacción, así como en reconocer la acidez y basicidad de compuestos, nucleófilos y electrófilos, entre otros.

Por experiencia del investigador, y de acuerdo con la revisión bibliográfica, son numerosos los momentos en que estudiantes con muchas horas de capacitación en cursos de Química, continúan presentando dificultades cuando resuelven problemas donde intervienen conceptos de la reactividad química, las cuales son evidenciadas en el momento de realizar las representaciones en exámenes y tareas (Bodner y Domin 2000; Kraft, Strickland y Bhattacharyya 2010; Bhattacharyya 2014; Stieff, Ryu, Dixon y Hegarty 2012). Así mismo, sobre la comprensión del lenguaje químico, Bhattacharyya (2013) menciona que muchos estudiantes pueden resolver problemas y llegar a respuestas correctas sin comprender el significado adecuado de los conceptos involucrados, lo que en el futuro repercute en su desempeño profesional o en la deserción escolar.

Conociendo las dificultades anteriores y reconociendo que la finalidad de la enseñanza es que los estudiantes aprendan significativamente, se tratará de implementar un método didáctico que comprenda los procesos reflexivos y direccionados que emplea el docente para incentivar y promover dicho aprendizaje. Como ya se ha mencionado, el desarrollo de la comprensión por parte de una persona ocurre a medida que esta incorpora nuevos significados y los relaciona de forma no literal con el conocimiento que ya posee. Nuestro modelo de aprendizaje intenta que los estudiantes construyan cada uno sus propios significados y que durante la instrucción generen relaciones nuevas entre los conceptos, fruto de nuevas habilidades y experiencias. Se entiende que cada estudiante es un receptor diferente, lo cual conlleva a una relación con la metodología de estudio de casos.

La propuesta de intervención didáctica se desarrolló considerando los siguientes presupuestos:

- El lenguaje tiene una función mediadora en los procesos de aprendizaje, pues permite el intercambio de significados y es el vehículo que favorece la interacción social de la comunidad científica, donde los estudiantes manifiestan su razonamiento y el grado de apropiación de la representación química en los procesos de resolución de problemas.
- Las actividades presentadas en la intervención didáctica: indagación previa, resolución de problemas de lápiz y papel, elaboración de mapas conceptuales, construcción de modelos, entre otras, permiten a los estudiantes interactuar en diferentes condiciones para acceder al significado de sus comprensiones.

- La resolución de problemas es la principal actividad que entrega información para establecer la conceptualización alcanzada por los estudiantes. Y, a su vez, permite identificar cómo establecen vías de solución y el análisis de comprobación.
- La línea de tiempo en que se desarrolla la investigación establece cómo se diseñan los enunciados de los problemas propuestos (presentados en un orden creciente de complejidad), debido a que estos van dando respuesta a preguntas que aparecían en la reflexión personal del investigador como instructor del curso, con el fin de ofrecer diferentes formas de realizar la misma pregunta para inferir su interpretación, explicación y preferencia. Así, los problemas se presentan de modo que los estudiantes vayan construyendo los conceptos con mayor nivel de abstracción, a través de la interacción con el lenguaje químico
- Las actividades complementarias posibilitan la integración de los nuevos conocimientos, en un conjunto coherente de significados. Tienen el objetivo de contribuir a que los estudiantes lleguen a conseguir un aprendizaje significativo, mediante una estrategia alejada de la resolución operatoria de problemas, que busca soluciones claras con significado, intentando tener una posición predictiva del resultado.

La propuesta didáctica de enseñanza está fundada en una postura constructivista del conocimiento, utiliza las ideas de los alumnos y las intenciones educativas del profesor, en la cual el énfasis está puesto en favorecer la construcción de significados por el estudiante. Respecto del razonamiento sobre las situaciones denominadas problemas y su resolución, los estudiantes pretenden dar significado a sus interpretaciones con los enunciados en términos del lenguaje químico y de la reactividad química asociada a compuestos carbonílicos, y alcanzar la solución que muestre cómo es su comprensión durante cada etapa. El proceso de aprendizaje se fundamenta en el aprendizaje significativo y significativo crítico, e implica que el nuevo conocimiento, objeto de aprendizaje, sea asimilado e integrado en la estructura cognitiva del alumno.

El grupo de actividades sobre el que se organiza la propuesta didáctica se ha realizado con el propósito de que los alumnos puedan incorporar un conjunto de conceptos propios sobre la reactividad química de los grupos carbonilos, así como el lenguaje químico que subyace a esta área del conocimiento químico. Las actividades ayudan al alumno de forma natural a hacer explícitas sus ideas y ser consciente de ellas, cuando intenta compartir los significados con sus otros compañeros y el profesor y, por

otro lado, la conceptualización interna que lleva un componente de satisfacción personal en el proceso de aprender con significado.

En esta perspectiva, el conocimiento engloba los componentes: cognitivo, práctico y afectivo, pues es de interés que los alumnos desarrollen, no solo conceptos, sino también estrategias y destrezas relativas al objeto de estudio, así como actitudes positivas hacia las ciencias y su aprendizaje.

5.2.1 Desarrollo de la propuesta de intervención didáctica

Durante la intervención didáctica, además de clases teóricas, se han realizado actividades diversas, destacando las siguientes:

1. Una indagación, preliminar al curso de Química Orgánica Uno, para averiguar los conocimientos sobre algunos conceptos químicos fundamentales y sus representaciones asociadas con el uso del lenguaje químico.
2. Un análisis del historial de la experiencia de cada estudiante en los Cursos anteriores al desarrollo de la investigación.
3. Realización de un diario semiestructurado para la descripción de la preparación de la prueba parcial llamada ‘principios de reactividad’ del curso de Orgánica Uno.
4. Una serie programada de resolución de problemas, secuenciados en un orden progresivo de dificultad atendiendo al número y grado de abstracción de los conceptos químicos involucrados en sus enunciados. En uno de los apartados próximos se discute la preferencia que tienen los estudiantes ante enunciados diferentes de problemas sobre un mismo tópico y cómo la diferencia existente entre ellos sobre dominio del lenguaje químico influye en la resolución de problemas.
5. La elaboración de *mapas conceptuales* representativos del progreso de aprendizaje de los estudiantes, elaborados en dos momentos diferentes. Esta herramienta metacognitiva pretende que los alumnos expliciten los conceptos tratados en el proceso de enseñanza y aprendizaje, así como las relaciones entre los mismos.
6. La construcción de *modelos moleculares* debido a su potencial para aprender lenguaje químico (Moreno, Alzate, Meneses y Marín, 2018) y la interacción con

juegos ya que permiten de una forma lúdica acercarse al dominio de términos propios del lenguaje químico. Uno de estos juegos es el *Sudoku* de grupos funcionales (Crute y Myers, 2007), el cual ayuda a la apropiación de las relaciones entre la estructura y representación y la lectura de grupos funcionales y otro es el *Quimino* pensado para aprender las relaciones entre los conceptos nombre, símbolo, número atómico y valencia química (Moreno, Hincapie y Alzate, 2014).

7. Una adaptación del libro de texto *Pushing Electrons* que permite poner en práctica las técnicas de representación para el movimiento de electrones en los mecanismos de reacción (Weeks, 1995-2013).

A partir de las actividades anteriores se analizó el desempeño del grupo de estudiantes en tres etapas diferentes.

- a. La primera estuvo centrada en el análisis de las respuestas a las cuestiones presentadas en la indagación preliminar de conceptos y la obtención del primer acercamiento a la indagación del significado atribuido al lenguaje químico.
- b. Los dos restantes estuvieron orientadas a indagar el proceso de apropiación del lenguaje químico presentado en el desarrollo de las actividades de aula y los encuentros extracurriculares que los estudiantes realizaron con el profesor investigador.

A continuación, se describe cómo fue el desarrollo de la intervención didáctica a lo largo de las semanas donde se impartió el nuevo conocimiento y cómo este se relaciona con los saberes previos de los estudiantes.

El curso de Química Orgánica Uno es uno de los cinco cursos que los estudiantes tienen que seguir durante el cuarto semestre académico, siempre y cuando se encuentren en situación regular (que hayan aprobado todos los cursos prerequisites). Los objetivos que se pretende que los estudiantes alcancen con este curso están relacionados con la adquisición de los conceptos fundamentales del saber en Química Orgánica, todos ellos comprometidos con el aprendizaje del lenguaje químico en esta área del conocimiento. Su estructura curricular es muy similar a la propuesta a grupos intervenidos por Flynn y Featherstone (2017) en una Universidad Canadiense. Cuando los estudiantes aprueben los cursos Química Orgánica Uno y Laboratorio de Química Orgánica Uno, podrán matricularse en el curso de Química Orgánica Dos, para adentrarse en los conceptos

propios de mecanismos de reacción, siempre articulado al lenguaje químico como mediador de la adquisición de conocimiento.

En la tabla 5.1 se presentan los contenidos relacionados con la reactividad química de compuestos carbonílicos de las unidades de estudio de los cursos de Química Orgánica Uno y Química Orgánica Dos (más detallada) y sus respectivas cargas horarias, para el programa de Química, donde han participado los estudiantes.

Tabla 5.1 Contenidos generales de los Cursos de Química Orgánica Uno y Dos

Química Orgánica Uno	
Unidad 1. Estructuras de Lewis en química orgánica	Horas totales:8
Unidad 3. Introducción a los orbitales moleculares (TOM)	Horas totales:8
Unidad 4. Estructuras Deslocalizadas	Horas totales: 6
Unidad 7. Isomería	Horas totales: 14
Unidad 9. Reacciones ácido-base	Horas totales: 6
Unidad 10. Lógica de las reacciones orgánicas	Horas totales: 8
Unidad 11. Reactividad en el contexto de los orbitales	Horas totales: 4
Unidad 12. Reducciones y oxidaciones	Horas totales:4
Química Orgánica Dos	
Unidad 1: Adiciones nucleofílicas al grupo carbonilo: aldehídos y cetonas.	Horas totales: 10
1.1. Adición nucleofílica. Mecanismo en medio neutro, ácido y básico 1.2. Reactividad del grupo carbonilo. Factores electrónicos y estéricos 1.3. Hidruros como nucleófilos, reducciones: hidruros metálicos y transferencia de hidruro (reacción de Cannizzaro) 1.4. Carbono como nucleófilo: cianuro, compuestos organometálicos (C-Mg y C-Li), 1.5. Adición nucleofílica a análogos carbonílicos: iminas y nitrilos 1.6. Oxígeno como nucleófilo: hidratación y hemiacetales 1.7. Azufre como nucleófilo: iluros de azufre 1.8. Reacciones de adición nucleofílica con reagrupamiento: Beayer-Villegger,	
Unidad 2: Sustituciones nucleofílicas al grupo carbonilo con pérdida del oxígeno	Horas totales: 8
2.1. Oxígeno y azufre como nucleófilo: acetales, cetales, acetónidos y tioacetales 2.2. Nitrógeno como nucleófilo: iminas, enaminas, hidrazonas y sus derivados 2.3. Aminación reductiva 2.4. reacción de Mannich 2.5. Iluros de fosforo (reacción de Wittig) 2.6. Otras reducciones: Wolf-Kishner y Clemmensen	

5.2.2 Propuesta de intervención didáctica

Una clase en el curso de Química Orgánica Uno o Química Orgánica Dos puede transcurrir de la siguiente forma:

1. Se realiza la lectura por parte de dos o tres estudiantes del resumen de la clase anterior; esta situación puede propiciar la elaboración de preguntas por parte de los estudiantes o del profesor, para consolidar o reelaborar los conceptos ya tratados o para introducir tópicos nuevos a discutir. Un ejemplo del resumen de clase realizado por 'Dani' (seudónimo de la estudiante del Caso 1) para el curso de Química Orgánica Uno, donde fueron tratados los tópicos de especies reactivas que se derivan del carbono se presenta a continuación:

En la clase anterior vimos los compuestos químicos que se llaman 'especies reactivas' en química orgánica; los primeros son carbocationes que tienen déficit de electrones y por esto tienen una carga positiva; su hibridación es sp^2 y tienen tres orbitales híbridos sp^2 y uno no híbrido p; es un poderoso electrófilo y actúa como un ácido de Lewis; si los sustituyentes son grandes se estabiliza mucho por hiperconjugación; los carbocationes 3 son los más estables, después los 2 y por último los 1; también los estabiliza la deslocalización (Dani, clase de química orgánica uno, sep. 2012).

2. Continúa con la introducción de nuevos contenidos, los cuales pueden estar acompañados de la presentación de un video y transparencias, pero nunca sólo estas últimas. La reflexión didáctica del investigador recomienda la utilización de la pizarra en paralelo al videoprojector; la razón se fundamenta en un efecto espejo que ayuda al desarrollo de las habilidades de escritura de los estudiantes; es decir, los alumnos aprenden mejor a representar, por ejemplo, estructuras químicas de la forma en que éstas son representadas por el profesor. De ahí, la importancia de una conciencia semántica en las representaciones. La introducción de nuevos contenidos no se realiza exclusivamente de la forma anterior, también es recomendable la selección de un texto, el cual se entrega a los estudiantes para hacer inicialmente una lectura personal en voz baja y continuar con una lectura grupal en voz alta, donde cada participante se compromete ya sea con una página o un párrafo; está permitido interrumpir la lectura y hacer preguntas y comentarios,

que muchas veces se relacionan con aspectos del mundo cotidiano y hacen de la clase un espacio para la discusión.

3. Una vez se han introducido los nuevos conocimientos, se pasa a una etapa donde se relacionan conceptos (diferenciación progresiva). Se trata de una actividad donde se puedan identificar semejanzas y diferencias, además de reorganizar su conocimiento (reconciliación integradora). Por ejemplo, de esta actividad es interesante el trabajo de Crute y Myers (2007), que consiste en la construcción de un *sudoku* de grupos funcionales donde son reunidas diferentes formas de representación (nombres, fórmulas estructurales y fórmulas de composición), actividad muy útil para favorecer la comprensión de los mecanismos de reacción. Otros trabajos que también se pueden proponer son semejantes a los planteados por Eastwood (2013), quien recomienda el uso de *modelos moleculares* a modo de juego para relacionar la estructura y nombres de compuestos orgánicos, o por Moreno et al. (2014), quienes proponen un juego análogo a un *dominó* para aprender relaciones entre los conceptos valencia, nombre, símbolo y número atómico de sustancias elementales, entre otros.
4. La fase más importante del proceso de aprendizaje significativo es la que tiene por nombre *consolidación*, pretende que los estudiantes puedan apropiarse de los significados contenidos en los cursos, lo que se focaliza en la resolución de problemas según esta estrategia. Los problemas tratados se introducen como aplicaciones orientadas a la síntesis química, de acuerdo con la definición del problema definida por el autor de este texto, presentada en el capítulo 3. La resolución de problemas requiere de una estrategia, así se accionan los conceptos y se buscan relaciones nuevas entre ellos, para alcanzar su solución, ella normalmente está acompañada de una sensación de satisfacción personal. En esta fase se suelen proponer entre una y tres situaciones-problema. Se termina discutiendo en conjunto todos los aspectos respectivos a la resolución del problema, se exploran las diferentes rutas sintéticas propuestas, resaltando las ventajas y desventajas de cada una de las propuestas, se insiste en los significados referidos a los conceptos tratados, y se da respuesta consensuada a las preguntas realizadas por los estudiantes.
5. Como última fase secuencial, en algunas de las clases se opta por establecer relaciones conceptuales que orientan a la construcción de mapas conceptuales, los

cuales constituyen una estrategia para averiguar la relación de conceptos y la construcción de significados por los estudiantes. Se comienza muchas de las veces con la organización de un listado de los conceptos relacionados en los temarios tratados, posteriormente se transforma en un esquema primario que se va completando con la inserción de conectores apropiados a través del dialogo entre estudiantes y con el profesor. El producto final es el mapa conceptual elaborado por los alumnos, que también puede ser utilizado en la resolución de otras tareas y problemas, en las pruebas parciales.

Esta estrategia requiere, por parte del docente, la guía, acompañamiento y presentación de situaciones químicas motivadoras que se relacionen con los contenidos curriculares y, por parte de los estudiantes, una disposición activa al trabajo individual y colectivo, un esfuerzo por aprender, que le oriente en la búsqueda de sus propias respuestas y conocimientos, todo ello con el propósito de fomentar en los alumnos un Aprendizaje Significativo.

5.2.3 Resolución de problemas en el aula de clase

Durante el proceso de enseñanza se plantean problemas a los estudiantes y se les indica algunas recomendaciones para solucionarlos. Además, se acompañan con descripciones, argumentos, preguntas y respuestas parciales, dibujos, esquemas, mapas conceptuales y otras actividades para incentivar un aprendizaje significativo en la resolución de problemas de reactividad en Química Orgánica. Esta actividad de resolver problemas se compromete con la comprensión y transferencia de conceptos y es una de las estrategias más importantes para la retención de conocimientos, al incentivar mecanismos como la diferenciación, comparación, clasificación, análisis y síntesis y, además, favorece la comunicación oral, escrita y gráfica, y un dominio del lenguaje natural y químico.

Para ayudar a los estudiantes a abordar y resolver problemas se les aconseja seguir las siguientes pautas:

1. Mostrar una actitud positiva hacia el aprendizaje significativo y disponer de tiempo y tranquilidad para favorecer la comprensión.

2. Leer el enunciado una, dos, tres o más veces con atención lógica, a fin de favorecer su comprensión, evitando leer frases aisladas o hacer una lectura entrecortada.
3. Construir una lista de los conceptos implicados en el enunciado y enumerar además los datos preferencialmente a modo de tabla.
4. A partir del anterior ítem, es recomendable construir un esquema donde se puedan hacer explícitas las relaciones entre conceptos y entre estos últimos y los datos.
5. Formularse preguntas para favorecer la comprensión, por ejemplo, ¿cuál de las sustancias es mejor nucleófilo?, ¿la reacción se favorece en un medio prótico o aprótico?, ¿cuál de los centros electrofílicos es mejor para comenzar un ataque?
6. Realizar una representación con un dibujo de las estructuras químicas de los reactivos y/o productos conocidos e identificar los centros de reactividad en cada una de ellas.

Por último, se procede a dar la solución, dibujando propiamente los movimientos de electrones, denominados ‘ataques’ en el coloquio de química orgánica, y trazando los rompimientos y formaciones de enlaces en las etapas necesarias.

A continuación, se presenta un ejemplo, la descripción del proceso de resolución del problema número 3 realizado por Dani, cuya presentación gráfica se recoge en la figura 5.1.

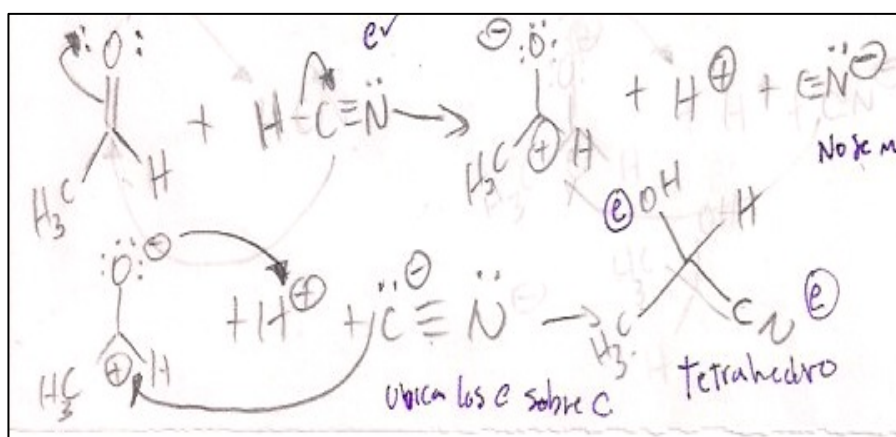


Figura 5.1 Representación de la resolución del problema número 3 realizada por Dani

Al comenzar con el mecanismo de reacción Dani:

1. Dibuja la estructura para un aldehído de cadena lineal (etanal).
2. Asigna adecuadamente los pares de electrones libres para el oxígeno del grupo carbonilo.
3. Dibuja una molécula de cianuro e hidrógeno adecuadamente.
4. Tras pensar por un momento, deslocaliza con una flecha curva el par de electrones del doble enlace, decide atacar al hidrógeno ácido utilizando lo que parece ser un par de electrones del oxígeno carbonílico; sin embargo, la flecha parte de una posición inadecuada.
5. Inmediatamente con otra flecha curva ataca al carbono carbonilo, esta vez partiendo del carbono del ácido.
6. Tras dudar un momento decide borrar las flechas que representaban el ataque y dibuja una nueva mostrando la disociación del Hidrógeno ácido.
7. Después traza una flecha recta indicando una transformación química cuyos productos son el aldehído con el doble enlace deslocalizado, el catión hidrógeno y el anión cianuro, todos ellos con las cargas y pares de electrones, exceptuando el par de electrones sobre el carbono del anión Cianuro.
8. Inmediatamente reescribe las mismas tres fórmulas estructurales y esta vez sitúa un par de electrones sobre el carbono y la respectiva carga de anión.
9. Tras comparar las representaciones, traza un par de flechas curvas indicando un proceso simultáneo de ataque del anión cianuro al carbono carbonilo y de un par de electrones del oxígeno aniónico al catión hidrógeno, la segunda flecha parte de la carga negativa y llega a la carga positiva del catión lo que indica un acercamiento entre cargas y no un movimiento de electrones para formar un enlace.
10. Y por último, dibuja la estructura del producto de adición nucleofílica de forma tetraédrica eliminando por completo la representación de los electrones.

5.2.4 Otras actividades incluidas en la propuesta didáctica

Construcción de mapas conceptuales

La noción de mapa conceptual tiene su origen en la Universidad de Cornell en Estados Unidos por el Profesor Joseph Novak acompañado por sus estudiantes, en la década de los setenta. Los mapas conceptuales tienen por objeto representar relaciones

significativas entre conceptos en forma de proposiciones. Una proposición incluye dos o más conceptos unidos por palabras o frases llamadas conectores para articular una relación con significado.

Los mapas conceptuales son muy útiles para estudiantes y profesores, dado que relacionan ideas importantes en las que se concentran las actividades de aprendizaje. Tienen el propósito de representar relaciones jerárquicas entre conceptos en un diagrama de modo vertical, horizontal, diagonal o curvado. Los mapas se pueden representar en una y dos dimensiones: los unidimensionales constituyen listas de conceptos que tienden a ser presentados de forma lineal o vertical, dando una visión limitada de la estructura conceptual, los mapas bidimensionales pretenden mostrar las relaciones jerárquicas que poseen los conceptos (Moreira y Buchweitz, 1993).

En el proceso de elaboración de mapas conceptuales se pueden desarrollar nuevas relaciones conceptuales; trabajando de manera activa, se pueden construir relaciones proposicionales entre conceptos que previamente no se consideraban que estaban relacionados. El progreso del aprendizaje significativo, elaborando mapas conceptuales, da lugar a plantear nuevas relaciones más estructuradas de un mismo conjunto de conceptos. En este sentido, la elaboración de mapas conceptuales es una actividad que puede ayudar a fomentar la creatividad.

En relación con la teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel, los mapas conceptuales que se proponen deben ser jerárquicos, dicho de otra manera, los conceptos más generales y más inclusivos deben situarse en la parte superior e ir avanzando con conceptos cada vez más específicos, menos inclusivos; como este aprendizaje se produce más fácilmente cuando nuevos conceptos o significados son subsumidos por conceptos más generales o más inclusivos, lo que está de acuerdo con el principio de diferenciación progresiva. Sin embargo, algunos autores reconocen que otras jerarquías diferentes permiten una utilización desde el punto de vista didáctico multi direccional, de arriba abajo o diagonal, puesto que el mapa conceptual también debe proponer la reconciliación integradora de conceptos (Moreira, 1993).

Novak y Gowin (1988) indican que la elaboración de mapas es una técnica que permite la exteriorización de conceptos y proposiciones, por tanto, permite que los profesores y los alumnos presenten, intercambien y/o negocien sus puntos de vista sobre la validez de una determinada relación proposicional, también posibilita reconocer si

existe la falta de relaciones entre conceptos o relaciones falsas, lo cual deja al educador proponer una estrategia de enseñanza para alcanzar un aprendizaje con significado. Por esto, los mapas conceptuales pueden ser un recurso de enseñanza, de evaluación y de verificación del aprendizaje.

Construcción de modelos moleculares

Construir y utilizar modelos moleculares es una actividad didáctica importante para comprender e intercambiar significados sobre conceptos fundamentales en las asignaturas básicas y avanzadas de química. Posibilita centrar la atención en las características moleculares, como la valencia química, el número y la clase de átomos que forman parte, la identificación de grupos funcionales, la geometría molecular, la longitud y ángulos de enlace. Y promueve la comprensión de las transformaciones entre diferentes tipos de representaciones moleculares, por ejemplo, manipular las diferentes estructuras correspondientes a un grupo de isómeros que comparten una misma fórmula molecular.

Esta actividad pone en acción el lenguaje químico, los conceptos químicos y de otras disciplinas como la matemática. El empleo de estos modelos ayuda a la comprensión de la representación molecular, la cual es difícil de imaginar, dibujar o abstraer por los estudiantes principiantes, quienes tienen dificultad en integrarla con situaciones y otros conocimientos químicos en la resolución de problemas (Bhattacharyya, 2014). La experiencia con nuestros estudiantes, cuando construyen sus propios modelos moleculares, resulta una actividad que estimula su participación en las clases y laboratorios. Es una estrategia para potenciar la comprensión de la organización espacial molecular y sus características, activando la fluidez del pensamiento molecular.

Esta técnica de construcción de modelos moleculares fue desarrollada como una actividad complementaria a las discusiones en el aula con el fin de fomentar la comprensión molecular. En la intervención del grupo del curso Química Orgánica Uno, los estudiantes fueron organizados en grupos de cuatro integrantes. Realizaron el proceso de construcción de modelos en varios momentos del curso: al estudiar las reglas de nomenclatura química, en la identificación de grupos funcionales, en el estudio de isómeros conformacionales y configuracionales, y en la aclaración de algunas de las etapas de los mecanismos de reacción en estudio.

La construcción de modelos se ha implementado en varios cursos del Programa de Química en la Universidad de Antioquia con antelación a esta investigación, por ejemplo: en Estructura Química y enlace (Nivel II), Química Orgánica I (Nivel III), Química Orgánica II (Nivel IV) y en algunos cursos de capacitación para estudiantes de bachillerato. Una de las técnicas implementadas utiliza pitillos de bebidas, quienes representan los enlaces químicos (Moreno et al., 2018).

Una importante contribución didáctica de la construcción de modelos moleculares es colocar en acción el lenguaje químico en términos de símbolos elementales, nombre molecular, fórmula molecular, fórmula estructural y el campo de las propias palabras, conceptos y teorías de la Química. A través del trabajo colaborativo, se pueden construir modelos moleculares y los estudiantes pueden explorar la nomenclatura, los grupos funcionales, los enlaces múltiples y la geometría molecular. Estos intercambios y reconocimientos promueven la construcción descriptiva y explicativa de la molécula y las relaciones moleculares en términos de agregados, así como también alientan el pensamiento y el diálogo con respecto a la sustancia y sus comportamientos.

La primera fase consiste en dibujar la estructura de interés utilizando los conceptos de fórmula molecular y valencia química, con la ayuda del profesor; luego identificaron el nombre químico, los grupos funcionales y las longitudes de los enlaces que definen las características estructurales. Después unieron los fragmentos constituyentes anteriores de la estructura, y finalmente modificaron la estructura molecular y rectificaron los ángulos planos y diedros.

Durante todo el proceso de modelado, el profesor utilizó explicaciones orales y escritas para comunicarse con los estudiantes, trabajando en cada uno de los conceptos y definiciones involucrados en el desarrollo de la actividad, utilizando palabras, ecuaciones y símbolos del lenguaje químico. Además, el profesor fue consciente del uso apropiado y pertinente del lenguaje químico e insistía a los estudiantes que tuvieran cuidado de usar este lenguaje para promover la comprensión de conceptos y representaciones de la Química, pues el uso del lenguaje común dificulta la conceptualización de los mismos.

Construir los modelos moleculares, además de mejorar el desarrollo de habilidades manuales y centrar la atención en las características moleculares (como la valencia química, el número y la clase de átomos de los que están compuestos, la

identificación de grupos funcionales, la geometría atómica, el enlace, longitudes, ángulos y tipos), pueden utilizarse para promover la comprensión de las transformaciones entre diferentes tipos de representaciones moleculares.



Figura 5.2. Un grupo de estudiantes y profesores en la construcción de un modelo molecular

Juegos didácticos: Químico y Sudoku

El Químico es un juego didáctico que permite el aprendizaje significativo de los conceptos valencia, número atómico, símbolo químico y sus relaciones, los cuales son fundamentales para la Química. El juego estimula la pregunta y la contrapregunta, la respuesta argumentativa y el compromiso intelectual para comprender los significados químicos. Utiliza un grupo de fichas análogas a fichas de dominó, donde no está permitido unir las cuando coincide la misma representación, y solo se pueden unir cuando coinciden relaciones conceptuales, por ejemplo: el símbolo de la sustancia carbono con la valencia (IV), el símbolo de la sustancia sodio y el número atómico 11 o el número atómico 13 y la valencia (III) (Moreno et al., 2014).

Comprender la estructura de la tabla periódica, por ejemplo, implica el aprendizaje de un conjunto de relaciones químicas periódicas, con las que los estudiantes se familiarizan con el tiempo, y son de gran importancia en la educación superior. Estas relaciones periódicas nucleas una serie de conceptos y símbolos que los hacen explícitos, como el número atómico, la valencia, el número de oxidación, el elemento químico, el símbolo químico, las sustancias simples y compuestas, las moléculas mononucleares y polinucleares. Estos conceptos y la relación periódica fundamental entre Z y V se presentan en los cursos de primer año de Química en la

universidad, y brindan la oportunidad de poner en práctica algunas relaciones químicas de manera lógica.

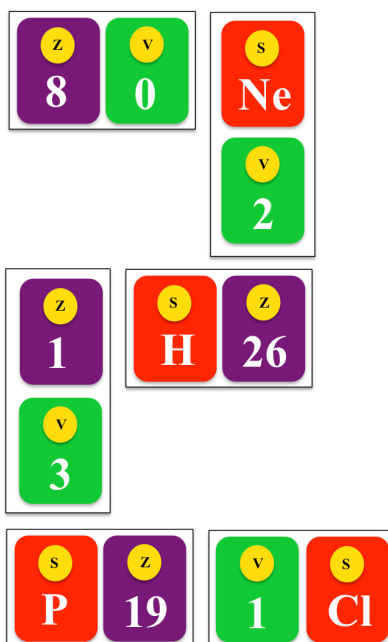


Figura 5.3. Fragmento de una partida de Químimo, donde se observan las relaciones: número atómico-símbolo, valencia-número atómico y símbolo-valencia. (Moreno et al., 2014)

Una posible forma de lograr un aprendizaje significativo de un amplio conjunto de información esencial en diversas áreas de la Química es el uso de juegos y rompecabezas que permite, de forma guiada, colaborativa y divertida, la manipulación de conceptos y las relaciones básicas abstractas que conducen a su aprendizaje y reaprendizaje, así como también consolidar nuevos significados.

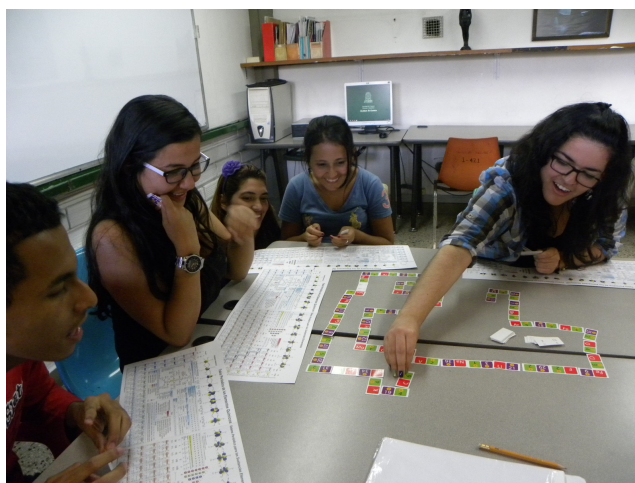


Figura 5.4. Un grupo de estudiantes en desarrollo de una partida de Químimo.

Sudoku de Grupos Funcionales

Sudoku es otro de los juegos implementados en el curso de Química Orgánica Uno; consiste en establecer relaciones entre estructuras y sus representaciones moleculares y es análogo al tradicional juego matemático. Mediante su uso se pretende la comprensión de las diferentes formas en que se puede representar un mismo grupo funcional, ya sea utilizando fórmulas de composición, fórmulas estructurales, estructuras de cuñas y barras, lineo angulares o su nombre; la regla básica es que el mismo grupo funcional no se repita en la misma fila, columna o recuadro de 3x3, todo ubicado en un tablero de 9x9 casillas, lo que incluye 81 representaciones químicas (Crute y Myers, 2007).

La habilidad visual para reconocer las estructuras también se expande a la identificación del tipo de hibridación, de las valencias, de los pares de electrones libres o de las cargas eléctricas, entre otros. Por lo tanto, la implementación regular de estas actividades promueve una mejor capacidad de respuesta cuando los problemas involucran un análisis estructural.



















					alcohol			
	alkene		$R-C\equiv CH$	ester				
	C_2H_2		ketone					
						alkyne	carboxylic acid	
	aldehyde							
		$RCOOH$				amine		$HO-R$
					carboxylic acid		H_3C-CHO	amide
		$RC(O)R$						
		ester	CH_3CH_2OH					

Figura 5.5. Sudoku de grupos funcionales. Tomado de Crute y Myers (2007).

5.2.5 Material didáctico adaptado para la comprensión de la reactividad química

Una adaptación del libro de texto *Pushing Electrons* (Weeks, 1995, 2013), ha sido ampliamente utilizada en los cursos de Estructura y Enlace Químico, Química Orgánica Uno y Dos, donde se desarrolla esta investigación.

Una de las grandes tareas en estos cursos, es hacer que los estudiantes adquieran y comprendan los principios lógicos de las representaciones que determinan los movimientos de los electrones en los mecanismos de reacción. Las actividades normalmente consisten en una presentación de los conceptos tratados a modo de problemas resueltos paso a paso, acompañado de descripciones de aspectos claves a tener en cuenta en el momento de resolver el problema; los problemas se presentan con un incremento en su dificultad y ofrecen nuevos retos a ser resueltos. Finalmente, el libro lista un conjunto de problemas donde intervienen todos los tópicos discutidos.

La implementación del texto como material potencialmente significativo, se debe a la propuesta de recoger un buen compendio de los procesos de representación de los principales procesos que intervienen en los mecanismos de reacción de forma viable y explícita, esto permite a profesores y estudiantes poner en práctica sus habilidades y conocimientos a ser implementados en la resolución de problemas químicos, además de una oportunidad para el investigador de visualizar los desempeños en las pequeñas tareas y problemas más complejos realizados por los estudiantes.

A continuación, en las figuras 5.6 y 5.7, se presenta una muestra de los problemas tratados en el material adaptado del texto original:

TÓPICO 3

LA LÓGICA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS (MECANISMOS).

Un mecanismo es una descripción paso a paso de cómo las reacciones químicas ocurren. Cada paso implica algún tipo de formación de enlaces y / o ruptura de enlaces. "Empujar" electrones es una excelente forma gráfica para describir cada paso. Los químicos usan los mecanismos para predecir nuevas reacciones como para entender reacciones viejas.

Ruptura de enlaces sigma:

La ruptura heterolítica de un **enlace sigma** ocurre bajo una variedad de condiciones. En la figura, la flecha indica que los electrones sigma que forman el enlace A-B están dejando a A y se convierten en la propiedad exclusiva de B.



Esto es lo que ocurre en la primera parte de las reacciones denominadas **S_N1**.

En el *t*-butil-cloruro, el **grupo saliente** es el ión cloruro.

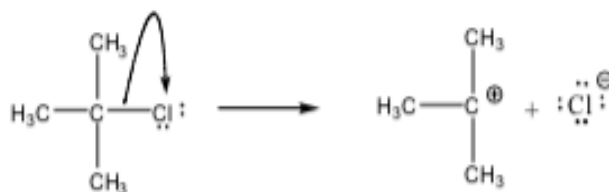
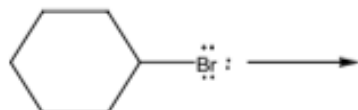
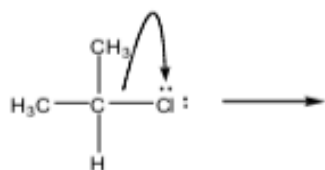
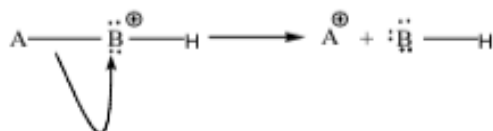


Figura 5.6 Muestra de los problemas implementados en el material potencialmente significativo

Complete:



A menudo, la ruptura heterolítica ocurre desde un intermedio cargado el cual fue formado en un paso previo:



Este tipo de ruptura ocurre en el segundo paso de la deshidratación de alcoholes.

Complete:

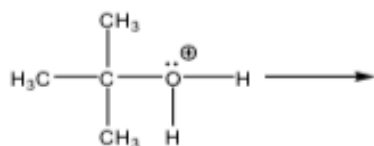


Figura 5.7. Muestra de los problemas implementados en el material potencialmente significativo

Para finalizar, se puede decir que el desarrollo de este tipo de actividades en el aula permite, a través de una adecuada planificación educativa e implementación del lenguaje químico, identificar en los estudiantes ideas preconcebidas y el progreso cognitivo de los conceptos involucrados y de los procedimientos utilizados para el razonamiento. Adicionalmente estas actividades facultan a los estudiantes para diferenciar sus ideas previas de las nuevas presentadas a lo largo del proceso, así como también consolidar nuevos significados.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS Y RESULTADOS

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS Y RESULTADOS

6.1 Indagación preliminar al curso de Química Orgánica Uno

La indagación preliminar se realizó utilizando un cuestionario que se diseñó atendiendo a dos finalidades: la primera se relaciona con la identificación de los preconceptos que poseen los 24 estudiantes matriculados en el curso de Química Orgánica I en el momento de iniciar las clases y cómo estos preconceptos se relacionan con la experiencia (expresada en horas de clases y número de cursos) que cada estudiante ha adquirido a lo largo de los semestres anteriormente aprobados en el programa de Química. La segunda consiste en identificar, a través de las respuestas a las diez preguntas del cuestionario, una primera aproximación sobre la utilización del lenguaje químico por los estudiantes, en términos del grado de utilización de símbolos químicos, fórmulas químicas moleculares, fórmulas estructurales y ecuaciones químicas, así como las representaciones que poseen.

La indagación preliminar comienza al reconocer los conceptos considerados como fundamentales para alcanzar con éxito un adecuado desarrollo cognitivo en el aprendizaje de la Química. Esta reflexión consiste en un gran listado que debe conformar un gran mapa conceptual que reúna dichos conceptos y todas las relaciones existentes entre ellos. La decisión para seleccionar las preguntas de esta indagación se apoya en la reunión que se ha llevado a cabo entre los profesores del área de Química Orgánica del Instituto de Química de la Universidad de Antioquia.

Tras las discusiones normales en este tipo de reuniones se citó en algún momento la pregunta de cuáles eran los conocimientos previos que los estudiantes deberían tener antes de comenzar el primer curso del área de Química Orgánica. El consenso final se muestra en el siguiente listado: Estructuras resonantes deslocalización; Enlace covalente, Estructuras Lewis, Teoría de enlace de valencia, Hibridación, Números de oxidación, Estados de oxidación carga formal, Fuerzas intermoleculares, Polaridad del enlace, Geometría molecular, Acidez y basicidad, Equilibrio ácido-base y constante de equilibrio, Velocidad de reacción y Orden de reacción.

Por otro lado, se pidió a dos nuevos profesores del área de Química Orgánica, no participantes en la mencionada reunión, que propusieran su listado de conceptos, para dar respuesta a la misma pregunta. Los conceptos que formularon fueron los siguientes: Teorías de enlace, Electronegatividad, Polaridad de las moléculas, Fuerzas ínter e

intramoleculares, Solubilidad y propiedades físicas, Estructuras de Lewis, Hibridación, Termodinámica, Cinética, Acidez y basicidad y Estequiometría.

El aporte final, para responder a la misma cuestión, lo realizó un profesor del área de Química Orgánica, también de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Los conceptos que propuso fueron los siguientes: Electronegatividad, tamaño atómico, propiedades periódicas, Orbitales atómicos, Hibridación, Teoría del orbital molecular en moléculas diatómicas, Teoría de enlace de valencia (VSEPR), Acidez y basicidad, Equilibrio ácido base y constante de equilibrio, Velocidad de reacción, Orden de reacción y Perfiles energéticos.

Tabla 6.1 Conceptos previos propuestos por los tres grupos de profesores para un primer curso de Química Orgánica.

Concepto Previo	Grupo	Dúo	Unal
Estructuras resonantes y deslocalización.	✓		
Enlace covalente.	✓		
Estructuras lewis.	✓	✓	
Teoría de enlace de valencia (VSEPR).	✓	✓	✓
Hibridación.	✓	✓	✓
Números de oxidación.	✓		
Estados de oxidación carga formal.	✓		
Fuerzas intermoleculares.	✓	✓	
Polaridad del enlace.	✓	✓	
Geometría molecular	✓		
Acidez y basicidad.	✓		✓
Equilibrio ácido base constante de equilibrio.	✓	✓	✓
Velocidad de reacción.	✓	✓	✓
Orden de reacción.	✓	✓	✓
Electronegatividad.		✓	✓
Solubilidad y propiedades físicas.		✓	
Termodinámica.		✓	
Estequiometría.		✓	
Propiedades periódicas.			✓
Teoría del orbital molecular.			✓
Perfiles energéticos.			✓

Grupo ≈ Grupo de profesores área de química orgánica,

Dúo ≈ Pareja de Profesores de química orgánica,

Unal ≈ Profesor de química orgánica Universidad Nacional de Colombia.

Después de observar los anteriores listados, resalta el grado de importancia de los conceptos registrados, además de la concordancia entre los conceptos acidez y basicidad, teoría del enlace de valencia e hibridación. Todos los conceptos propuestos por los tres grupos de docentes se relacionan en la tabla 6.1. Sin lugar a duda algunos de ellos poseen una importancia transversal a lo largo de todo el contenido conceptual de la Química y no solo son prioritarios del área Química Orgánica.

En relación con nuestros resultados se encontró una referencia bibliográfica de una pregunta similar planteada por Bhattacharyya (2013) para un grupo de 44 profesores, con resultados similares en cuanto a los conceptos recomendados por los instructores.

6.1.1 Prueba de indagación preliminar

Se planteó realizar una indagación previa para obtener una aproximación sobre los conceptos que mencionan los estudiantes y el lenguaje químico que utilizan al responder a una serie de preguntas. Para ello, se propuso un cuestionario preliminar compuesto de diez ítems, entre preguntas y problemas, los cuales fueron contestados por los estudiantes el primer día de clase. Con la indagación se pretendió obtener registros preliminares que, posteriormente, podrían ser relacionados durante el transcurso de la investigación.

Identificar lo que el aprendiz ya sabe da una idea del grado de organización conceptual y permite averiguar si tiene significados claros para lograr un aprendizaje significativo de los conceptos en los cursos de Química Orgánica Uno y dos.

Contestaron al cuestionario un grupo formado por veinticuatro estudiantes que estaban matriculados en el curso de Química Orgánica Uno, de los programas de Química y Tecnología Química del Instituto de Química de la Universidad de Antioquia, en el segundo semestre de 2016. De este grupo se seleccionaron los primeros cuatro estudiantes que participaron en el estudio de Casos. El segundo grupo, sin embargo, está conformado por dos nuevos estudiantes matriculados en el curso de Química Orgánica Uno, del programa de Química del Instituto de Química de la misma Universidad, en el primer semestre de 2018, quienes posteriormente se describirán.

Queremos mencionar que resultados previos a esta investigación, se encuentran en el trabajo desarrollado por Moreno y Caballero (2008) donde se identifican algunos de

los preconceptos que poseían dos grupos de estudiantes, matriculados en el curso de Química Orgánica Uno, en el Instituto de Química de la Universidad de Antioquia.

Los diez ítems del cuestionario están relacionados con algunos de los conceptos indicados en la tabla 5.1, propuestos por los tres grupos de profesores. Se decidió hacer esta prueba a modo de evaluación clásica de lápiz y papel, por ser la forma en la que tradicionalmente los estudiantes resuelven problemas en sus evaluaciones. Las preguntas fueron respondidas por los estudiantes el primer día de clases y sirvieron como base para la planificación del curso. El objetivo era identificar algunos conceptos previos y sus representaciones asociadas con el uso del lenguaje químico.

A continuación, se presenta la prueba preliminar impartida para un primer grupo de cuatro estudiantes Caso: Dani, Cata, Lina y Alejo

Nombre:

Edad:

Programa:

Número de semestres que llevas cursados en tu programa:

¿Estás repitiendo el curso de 'Química Orgánica Uno'?:

¿En qué semestre aprobaste los siguientes Cursos?:

- Soluciones y estequiometria:
- Técnicas de laboratorio químico:
- Estructura y enlace químico:
- Cinética y equilibrio químico:
- Laboratorio de cinética y equilibrio:
- Separaciones químicas:
- Química inorgánica I:
- Laboratorio de Química inorgánica I:
- Química analítica I:
- Laboratorio Química Analítica

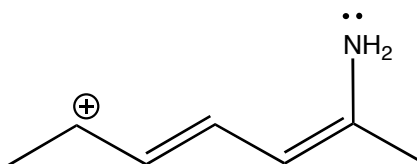
- 1) Dibuja el modelo atómico que consideres más apropiado como concepto de la Química y realiza una pequeña descripción.
- 2) Escribe el símbolo y la configuración electrónica para la sustancia elemental 'cloro'.
- 3) Dibuja la estructura de Lewis para una molécula cualesquiera y para el NH_4^+
- 4) Utilizando orbitales atómicos dibuja la hibridación de cada uno de los átomos en la

siguiente unidad molecular: CH₃CHO.

- 5) Dibuja una estructura molecular para la siguiente fórmula de composición: CH₃NH₃Cl
- 6) ¿Qué caracteriza a un ácido según la teoría de Bronsted-Lowry? Da un ejemplo.
- 7) ¿Qué caracteriza a una base según la teoría de Lewis? Da un ejemplo.
- 8) Si la siguiente ecuación química representa una reacción de tipo ácido-base según la teoría de Lewis, propón los productos de la reacción.



- 9) Dibuja los híbridos de resonancia de la siguiente unidad molecular:



- 10) Si una molécula posee un núcleo central enlazado a tres sustituyentes y además posee dos pares de electrones libres, ¿cuál es su geometría molecular?

Para el segundo grupo de Casos formado por los estudiantes, Niko y Carlos, se decidió cambiar las preguntas número 6 y 7, por otras que se consideró que ofrecían información más útil para evidenciar el lenguaje químico en las respuestas:

6 bis) Dibuja una molécula de agua y muestra su momento dipolar.

7 bis) Dibuja la interacción química utilizando flechas curvas, cuando una molécula de agua interactúa con otra molécula de agua.

6.1.2 Análisis y resultados sobre la prueba preliminar

La pregunta que se formula sobre los cursos aprobados corresponde a cursos previos al de Química Orgánica Uno, pues nos interesaba conocer las horas de instrucción en Química que habían cursado y aprobado los estudiantes con anterioridad al inicio del curso Química Orgánica Uno. En la tabla 6.2 se indican las horas teóricas y prácticas que corresponden a cada uno de los Cursos.

Lo ideal es que antes de matricularse en el Curso ‘Química Orgánica Uno’, los estudiantes tuvieran aprobados los diez Cursos anteriores mostrados en la tabla, que representan 352 horas directas de clases teóricas y 304 horas de clases experimentales, adicionales a las horas extra-clase, que cada estudiante debe dedicar a preparar cada uno de los cursos. Normalmente esto es una variable difícil de estipular, pues dependerá del trabajo personal de cada uno de los estudiantes.

Las diez preguntas propuestas en el cuestionario abren un espacio para visualizar algunos conceptos fundamentales que, según la experiencia de los grupos de profesores, poseen los estudiantes para comenzar un Curso de Química Orgánica.

Tabla 6.2 Cursos de Química y horas asignadas a los estudiantes de Química en la Universidad de Antioquia en los tres primeros niveles del programa.

Nivel	Curso	Horas teóricas semestre	Horas prácticas semestre
I	Soluciones y estequiometria	64	
I	Técnicas de Laboratorio Químico		96
II	Estructura y Enlace Químico	64	
II	Cinética y Equilibrio Químico	64	
II	Laboratorio Cinética y Equilibrio Químico		48
III	Separaciones Químicas	32	64
III	Química Inorgánica I	64	
III	Laboratorio Química Inorgánica I		48
III	Química Analítica I	64	
III	Laboratorio Química Analítica I		48
	HORAS TOTALES directas de clase	352	304

A continuación, se describe el propósito buscado en cada pregunta y los alcances en las respuestas, a las que se asignará una valoración cuantitativa, por parte del investigador, para facilitar, posteriormente, una descripción previa del grupo de estudiantes.

La pregunta uno, tiene como propósito determinar cuál es la representación que cada uno de los estudiantes tiene acerca de su modelo atómico y en qué grado esta

descripción se acerca al modelo atómico cuántico que posee la comunidad científica. Es un referente muy útil para la comprensión de muchas situaciones que serán tratadas en el curso. Esto mismo ha sido preocupación de una investigación realizada por Solaz et al. (1995).

La pregunta dos pretende reconocer cómo el estudiante escribe el símbolo de la sustancia elemental 'cloro'. La experiencia docente del investigador ha detectado que esta pregunta provoca múltiples opciones de representación, por lo cual, las respuestas de los estudiantes ofrecerán un primer acercamiento a cómo utilizan la representación química particular en la escritura de símbolos químicos, tarea que también ha sido de interés para Erduran (2001) y Alzate (2004).

La tercera pregunta se interesa de nuevo por la representación, ahora molecular, donde se conjugan varios factores importantes en el lenguaje químico como son los símbolos químicos, la valencia química y la escritura de los enlaces químicos.

La pregunta cuatro requiere un conocimiento químico más avanzado en el estudiante y, por ende, de su capacidad de representación. Primero, se debe dibujar adecuadamente la estructura molecular espacial de la sustancia y, posteriormente, traducirla en interacción de electrones y núcleos a través de los orbitales atómicos híbridos. El éxito dependerá de la conectividad química y del tipo de enlace químico utilizado en cada sección de la molécula.

La pregunta cinco reúne nuevamente aspectos de la representación molecular y lenguaje químico; los conceptos, valencia, símbolos y enlaces son claves para dar alguna de las múltiples soluciones al problema.

Las preguntas seis y siete están estrechamente relacionadas, con la diferencia de que la siete es más general e inclusiva; el ejemplo puede generar dos opciones para escribir el nombre o la fórmula química de la sustancia en cuestión y esto puede servir para luego dar un diagnóstico acerca de la preferencia o no del uso de fórmulas químicas en la resolución de problemas.

Mediante las preguntas seis y siete modificadas se pretende que los estudiantes dibujen fórmulas químicas estructurales y muestren, explícitamente, la posición y el movimiento de electrones en una transferencia muy simple entre dos moléculas de agua, consecuente con la notación de Robinson.

Mediante la pregunta ocho se desea identificar si el estudiante reconoce y utiliza la representación de Robinson (flechas curvas) en el momento de dibujar mecanismos de reacción o si su intencionalidad es netamente identificar los productos de reacción y ser dibujados como fórmulas estructurales o fórmulas de composición. Este comportamiento en algunos estudiantes fue ya evidenciado por Grove et al. (2012).

Al igual que la pregunta ocho, la nueve hace referencia a la notación de Robinson, desde otro punto de vista, como es la dinámica presente en la resonancia molecular. Comprender cómo se pueden mover los electrones a lo largo de una cadena sin alterar la valencia química ni las cargas eléctricas parciales, corresponde a otro nivel en la representación y su significado.

Por último, la pregunta diez se relaciona con la geometría molecular y la disposición espacial de las moléculas. Esta representación será muy útil cuando se busca poner en evidencia propiedades ópticas de las sustancias en algunos de los casos de resolución de problemas.

De la lectura y análisis de las respuestas dadas por los estudiantes a las preguntas de la prueba previa, se obtuvieron las apreciaciones que describimos en el siguiente apartado.

6.1.3 Apreciaciones iniciales del grupo

A partir de los registros obtenidos del cuestionario, se decidió interpretar, de una forma general, las respuestas del grupo de estudiantes. Los primeros datos de la encuesta se han representado en un gráfico comparativo, que indica la experiencia de los estudiantes en cursos de Química, previos a matricularse en el curso de ‘Química Orgánica Uno’ del segundo semestre de 2016. Es importante recordar que, según el currículo, todos los alumnos deberían tener aprobados los cinco cursos teóricos y cinco cursos experimentales descritos anteriormente. El currículo permite un cierto grado de flexibilidad para la matrícula de cursos, por lo cual la distribución en cuanto al número de horas cursadas por cada estudiante es diferente y bastante heterogénea, según queda patente en el gráfico 6.1.

El gráfico 6.1 se diseñó de forma que los datos se leen en orden creciente de izquierda a derecha, con la prioridad respectiva al número de horas dedicadas a cursos

teóricos, número de horas dedicadas a cursos prácticos y la apreciación cuantitativa del investigador sobre las respuestas de los estudiantes a las diez preguntas, con valor máximo de 500 puntos, para lograr una concordancia en la escala vertical. El último registro, situado a la derecha del eje de abscisas de la gráfica, muestra la condición *ideal* de un estudiante, para fines comparativos.

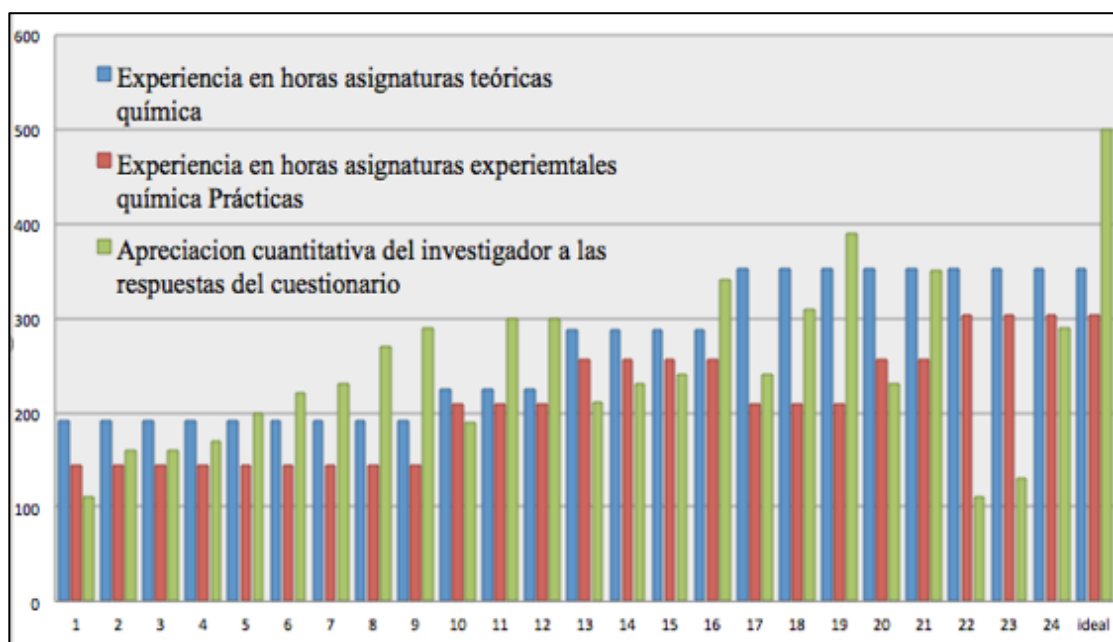


Gráfico 6.1. Perfiles para cada uno de los 24 estudiantes, donde se compara la experiencia en horas dedicadas a asignaturas teóricas, a asignaturas experimentales y la apreciación cuantitativa del investigador a las respuestas del cuestionario preliminar al curso de química orgánica uno.

Analizando la gráfica se destaca que ninguno de los estudiantes cumple con el criterio de *ideal*, que implicaría haber aprobado cinco cursos teóricos y cinco experimentales, con una equivalencia de 352 y 304 horas de experiencia en tiempo de clases en compañía de un profesor más otro conjunto de horas de dedicación personal al estudio de los contenidos de cada curso y la preparación de pruebas, tareas, lecturas, resolución de problemas, entre otros. Este conjunto de horas es muy difícil de definir pues dependerá de cada estudiante y su predisposición al trabajo independiente.

Obtener una calificación cuantitativa de 500 puntos en el cuestionario implicaría una situación *ideal*, la cual aparece en el gráfico solo como referente comparativo para dar una apreciación inicial de cada estudiante; debe ser tomada con prudencia, puesto que el cuestionario ha sido tomado como una indagación preliminar y en ningún caso puede reflejar el dominio conceptual y el total de conocimientos que los alumnos

poseen después de realizar las asignaturas que anteceden al curso de Química Orgánica Uno.

Se observa que ningún estudiante cumple con el criterio comparativo de *ideal*, tan solo seis de ellos alcanzan o superan una puntuación de 60%, puntuación que se ha considerado como criterio para aprobar el cuestionario, esto es equivalente en términos cuantitativos a 300 puntos. El bajo resultado obtenido por los estudiantes en la apreciación del investigador sobre las respuestas dadas al cuestionario, indica a priori que la instrucción y dedicación en cursos anteriores en la apropiación de conceptos químicos parece no ser significativa para el grupo de estudiantes, después de haber superado más de 300 horas de instrucción. Entre los cursos teóricos y prácticos este resultado del análisis es acorde con las investigaciones realizadas por Grove et al. (2012b) y Kraft et al. (2010) para estudiantes de final de carrera. Tampoco se observa una diferencia significativa a favor de los estudiantes que poseen más horas de experiencia. Esta información es concordante con lo reportado por Moreno y Caballero (2008).

El resultado más bajo en la prueba lo muestran dos estudiantes (nº 1 y nº 22) con formación muy diferente, 336 y 656 horas de trabajo respectivamente; su apreciación cuantitativa es del 22%, muy por debajo de la apreciación promedio de todo el grupo equivalente a 47,2%. Este valor, por debajo del 60%, que se considera como aprobado puede sugerir que los estudiantes del grupo poseen un bajo nivel conceptual sobre los conceptos preliminares recomendados por los tres diferentes grupos de profesores.

El gráfico anterior permite una nueva forma de visualización de los registros tomados en la prueba preliminar. En él se han agrupado los estudiantes que poseen en común el mismo número de cursos teóricos y experimentales aprobados, que aparecen en un recuadro azulado. A lo largo del gráfico se observa la variación de la apreciación cuantitativa del investigador para cada estudiante en el cuestionario preliminar. Cabe aclarar que existe la posibilidad de que los cursos totales aprobados no sean exactamente los mismos en cada agrupación establecida, excepto cuando el total de cursos aprobados es de diez.

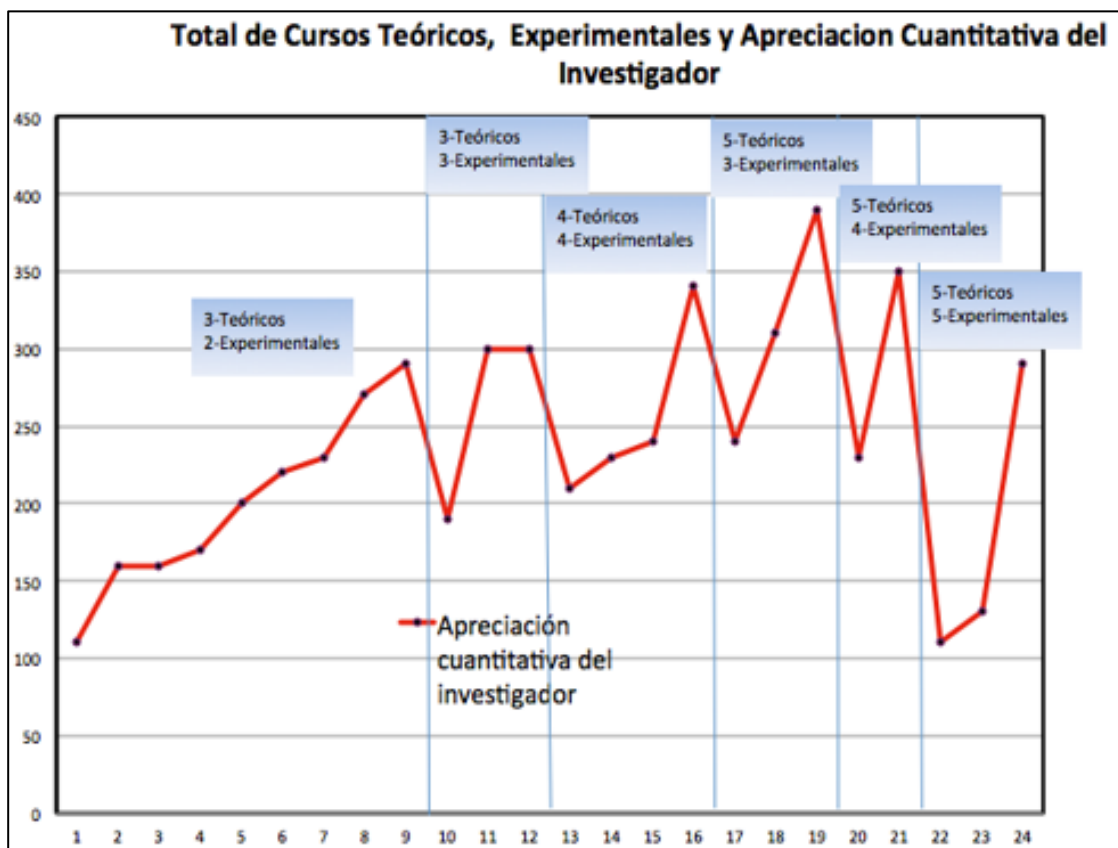


Gráfico 6.2. Relación entre el número de cursos teóricos y experimentales aprobados por un estudiante y la apreciación cuantitativa del investigador obtenida de las respuestas a las preguntas del cuestionario preliminar.

Desde esta visión, la heterogeneidad del grupo se hace evidente puesto que en una misma agrupación de estudiantes se tienen desempeños muy diferentes, sin existir relación entre los resultados del cuestionario y el número total de cursos aprobados previamente. En consecuencia, el gráfico 6.2 permite obtener una idea general sobre las experiencias conceptuales preliminares de los estudiantes en relación con el número de cursos aprobados antes de comenzar el curso de Química Orgánica I. Esta información permitirá conocer algunas dificultades a las que debe enfrentarse el profesor, para planificar el desarrollo del curso.

No se pudo realizar la prueba preliminar al grupo de estudiantes del Curso de Química Orgánica I, desarrollado en el primer semestre de 2018, puesto que este no fue direccionado por el investigador. De este Curso se seleccionaron los dos alumnos, Niko y Carlos, que conforman la muestra del Caso adicional, los cuales sí contestaron al cuestionario, obteniendo una puntuación de 350 y 340, respectivamente. Ambos habían

cursado y aprobado 5 cursos teóricos y 3 cursos experimentales y se situaron entre los estudiantes nº 18 y 19, con una puntuación cuantitativa a las diez preguntas del cuestionario del 70% y 68%.

6.1.4 Conclusión preliminar

De los resultados obtenidos de las respuestas de los estudiantes al cuestionario, se puede concluir que no existe una relación directa entre el número de cursos teóricos y experimentales aprobados sobre Química por los estudiantes y el nivel de dominio conceptual que disponen. Es decir, en la muestra de 24 estudiantes que contestaron al cuestionario, hay estudiantes que han recibido el doble de horas de formación (nº 22 y 23) que otros (nº 8 y 9) y el nivel de dominio conceptual de Química es bastante menor.

En consecuencia, la creencia general de que el número total de horas previas de instrucción sobre Química cursadas por los estudiantes o el número de cursos teóricos y experimentales aprobados deberían proporcionarles un mayor dominio y experiencia conceptual, parece no ser tan importante, pues no incide de una forma directa en las respuestas dadas por los estudiantes al cuestionario preliminar, resultado que coincide con lo aportado por Cooper, Grove, Underwood y Klymkowsky. (2010) y Grove et al. (2012) en sus investigaciones.

6.2 Conformación del grupo de los casos de la investigación

Después de contestar el cuestionario preliminar, comienza un periodo de cuatro semanas donde se realizan las actividades propias de las clases. En el inicio de la quinta semana se procede a seleccionar los estudiantes que constituyen los casos individuales del proceso de investigación. Después del trabajo en aula, comienza una familiarización con el grupo, aparecen los primeros juicios para realizar la invitación a participar y posteriores intervenciones y recolecciones de registros de los casos a investigar.

De acuerdo al criterio del investigador se considera prudente establecer algunas características que puedan facilitar el desarrollo normal de la intervención, como son: la participación en clase, la realización de tareas, las consultas extra-clase, la capacidad de comunicación, el interés por la asignatura y el trabajo en equipo. Después de tener una lista tentativa de posibles participantes, se establece como criterio el interés del estudiante por participar en el proyecto, lo cual implica participar en sesiones extra-clase en algunas actividades, como: entrevistas, resolución de problemas, correcciones

de pruebas, entre otras. Es así como se informa al grupo de 24 estudiantes de la realización del proyecto y de las necesidades de asignación de tiempo extra a quienes deseen participar en la investigación.

La lista inicial se conformó por ocho estudiantes, de los cuales cuatro no aportaron suficientes registros, puesto que faltaron en reiteradas ocasiones a las secciones programadas, por lo que se tomó la decisión de no incluirlos en la discusión y análisis de resultados. Posteriormente, se toma la decisión de incluir dos nuevos casos, separados por seis años en el tiempo, contando así con la participación de dos grupos uno de cuatro y otro de dos casos. Al final de la quinta semana los participantes, por iniciativa del profesor investigador, firmaron un compromiso de trabajo que regula las posturas éticas a lo largo del proyecto y afirma su participación constante y desinteresada en cuanto a la evaluación cuantitativa que según la reglamentación de la Universidad tienen los cursos (ver anexo A).

6.2.1 Los seis casos y su descripción general en la indagación preliminar

Después de la indagación preliminar y el análisis realizado al grupo de 24 estudiantes, procede conocer cómo fue el desempeño y comportamiento de los casos en relación a todas las variables que puede ofrecer la actividad. Las siguientes características, recogidas en la tabla 6.3, se han extraído de las respuestas al cuestionario del primer día de clase. Los registros tomados permiten un primer acercamiento en relación a su descripción.

El estrato social hace referencia a un tipo de clasificación implementado por el gobierno para diferenciar los sectores ciudadanos en relación a la capacidad económica, de esta manera los estratos altos (número mayor) subsidian a los bajos en el pago de los servicios públicos, son los inmuebles quienes tienen un estrato social, no así las familias.

El número total de cursos aprobados en el área de Química es, casualmente, de ocho para todos los estudiantes. Esta situación conlleva a una experiencia en horas bastante significativa 544 horas para Dani, Lina y Alejo, y 560 horas para Cata, Niko y Carlos. La experiencia en Química de los estudiantes de la muestra solo les ha permitido obtener un desempeño aceptable en la prueba de la indagación preliminar; los mejores puntajes son logrados por Niko y Carlos 70% y 68% respectivamente, Cata y Alejo

aprueban con una apreciación cuantitativa del 62% y 64% respectivamente; sin embargo, Lina y Dani apenas superan el 40%.

Tabla 6.3 Características del grupo de estudiantes que constituyen los seis casos de investigación

Caso	Sexo	Estrato social	Semestres cursados	Cursos teóricos aprobados Química	Cursos prácticos aprobados Química	Horas Teoría de Química	Horas Práctica de Química	Ubicación en los gráficos 5.1 y 5.2	Apreciación cuantitativa Indagación preliminar
Dani	F	3	3	4	4	288	256	13	42%
Lina	F	3	4	4	4	288	256	15	48%
Cata	F	3	3	5	3	352	208	18	62%
Alejo	M	2	4	4	4	288	256	16	64%
Niko	M	3	5	5	3	352	208	No aplica	70%
Carlos	M	2	5	5	3	352	208	No aplica	68%

6.3 El lenguaje químico en la indagación preliminar

Antes de dirigir la atención a cómo los estudiantes utilizan el lenguaje químico en la resolución de las preguntas propuestas en la prueba preliminar, reflexionemos sobre algunos aspectos relacionados con el lenguaje químico. Kosma y Russell (citados por Flynn y Featherstone, 2017), señalan que “dar sentido a lo invisible es un gran desafío al que se enfrentan los estudiantes para aprender química” (p. 64), donde los objetos y cambios que vemos en el nivel macroscópico reflejan el nivel submicroscópico (Johnstone, citado por Flynn y Featherstone, 2017); “estos niveles se comunican y se representan con el tercer nivel, el simbólico” (p.64) (Taber, citado por Flynn y Featherstone, 2017).

Este tercer nivel constituye el lenguaje de la química: sus numerosos símbolos, representaciones y herramientas (Talanquer, citado por Flynn y Featherstone, 2017) que sirven como palabras, gramática y sintaxis de la Química (Taskin y Bernholt, 2014). Este lenguaje es profundamente significativo para los expertos, pero poco más que una colección de líneas y puntos para muchos estudiantes (Bodner y Domin, 2000). Los expertos interpretan, construyen y cambian fácilmente entre representaciones y niveles

para representar mejor una molécula o proceso deseado (Gilbert et al., 2008). Sin embargo, este cambio es a menudo problemático para los estudiantes, ya que no siempre saben qué aspectos de las representaciones simbólicas son significativos, y mucho menos cómo se traducen entre ellos (Kozma y Russell, 1997; Johnstone, 2000; Cheng y Gilbert, 2009; Gilbert y Treagust, 2009; Strickland et al. 2010, citados por Flynn y Featherstone, 2017).

Después de la anterior reflexión y de la contundente importancia del lenguaje químico en los procesos de aprendizaje, Flynn y Featherstone (2017) insiste en:

No entender el idioma hace que sea difícil aprender los conceptos y es fácil interpretar mal el mensaje; y, sin embargo, la mayoría de los planes de estudio esperan que los estudiantes aprendan y utilicen este nuevo idioma simultáneamente en situaciones complejas (p.65)

Vale la pena recordar el significado de lenguaje químico, mencionado en el capítulo 3: al igual que otras ciencias, la Química se ha propuesto inventar estrategias de percibir su entorno utilizando la lógica química, los hechos experimentales y las predicciones teóricas; estos últimos se traducen en signos, símbolos y sus combinaciones para construir el lenguaje utilizado por todos los químicos del mundo.

Los símbolos y signos se han combinado de forma significativa y se han establecido reglas que regulan sus significados, permitiendo así, la construcción de una sintáctica y semántica del lenguaje químico universal. Los químicos avanzan en la creación de nuevos signos y combinaciones, cada creación proviene de una nueva necesidad de comunicar reciente información y evitar de algún modo las posibles confusiones al utilizar las palabras del lenguaje común, evitando la propagación de ideas erradas, símbolos químicos, fórmulas moleculares y estructurales, ecuaciones químicas, mecanismos de reacción, flechas curvas, pares de electrones, cargas eléctricas, representaciones moleculares, principios y teorías, entre otros; son componentes del lenguaje químico llenos de significados con el potencial de ser transmitidos e interpretados en la interacción social de una comunidad científica.

En síntesis, el lenguaje químico es un conjunto de signos y sus relaciones permiten la transmisión de ideas y significados en torno a una comunidad científica.

Aprender el lenguaje químico es una tarea personal del aprendiz, dado que todos los días son anexados nuevos signos y combinaciones de estos para designar nuevas sustancias, nuevas formas de representación, argumentar o debatir teorías. Apropiarse de los significados químicos es también apropiarse de la sintáctica y semántica del lenguaje químico, este es el principal camino para alcanzar la comprensión y, del mismo modo que cualquier otro lenguaje, funciona como mediador en la asimilación de conceptos.

Después de la síntesis anterior y de reconocer dos de los principios programáticos de la teoría del Aprendizaje Significativo Crítico relevantes en esta etapa: el principio del conocimiento previo y el principio del conocimiento como lenguaje, nos lleva al análisis de las respuestas dadas por los estudiantes al cuestionario preliminar, el cual pretende identificar cómo es la implementación del lenguaje químico de los estudiantes y qué clase de representaciones gráficas utilizan.

Para organizar el análisis de los datos obtenidos se han definido cuatro categorías. Cada una está conformada por un conjunto de dos conceptos químicos alusivos al lenguaje químico, son conceptos básicos utilizados en cursos anteriores al de Química Orgánica Uno.

Categoría 1

Símbolos químicos elementales: se refiere a la escritura adecuada de los símbolos químicos, primera letra mayúscula y siguiente(s) minúscula(s), tipo imprenta.

Fórmulas químicas moleculares y unidades fórmula: relacionada con una adecuada representación de las fórmulas químicas, símbolos químicos y subíndices que indican la composición y relación entre sustancias elementales.

Categoría 2

Valencia química: La escritura e interpretación de la capacidad de combinación química de las sustancias en las fórmulas químicas estructurales y de composición.

Fórmula química estructural: relacionada con la representación estructural de las sustancias participantes.

Categoría 3

Pares de electrones libres: de interés la representación, es decir, la ubicación a nivel intramolecular y su interpretación.

Cargas eléctricas: relativo a su representación, asignación, ubicación intramolecular e interpretación.

Categoría 4

Notación de Robinson: indica cómo se mueven los electrones a lo largo de un mecanismo de reacción, de dónde parten y a dónde llegan temporal o definitivamente.

Geometría molecular: relacionado con la identificación interpretación y representación.

A continuación, se realiza una descripción general para cada uno de los casos:

Caso Dani

La lectura del investigador da lugar a percibir que la estudiante establece una descripción simple del modelo atómico, conocido como “modelo de orbitales atómicos o moleculares”. Son obvias las confusiones en su descripción, donde intenta mezclar términos, pero no son claros los significados. Lo más interesante es que posee un pensamiento de partícula, pues menciona que los electrones poseen una “ubicación” en el modelo atómico. La explicación está acompañada de una secuencia de dibujos que no llevan al modelo propio, pero es un intento por mostrar gráficamente una información que no refleja la apropiación del concepto.

Realiza adecuadamente la escritura del símbolo químico para la sustancia cloro. Respecto a la utilización de los símbolos químicos, es recurrente su buen uso en todas las representaciones que utiliza en las respuestas a las preguntas, sin embargo, se le ha recomendado mejorar el símbolo químico que utiliza para el hidrógeno, puesto que se ha detectado varias representaciones inadecuadas de este símbolo.

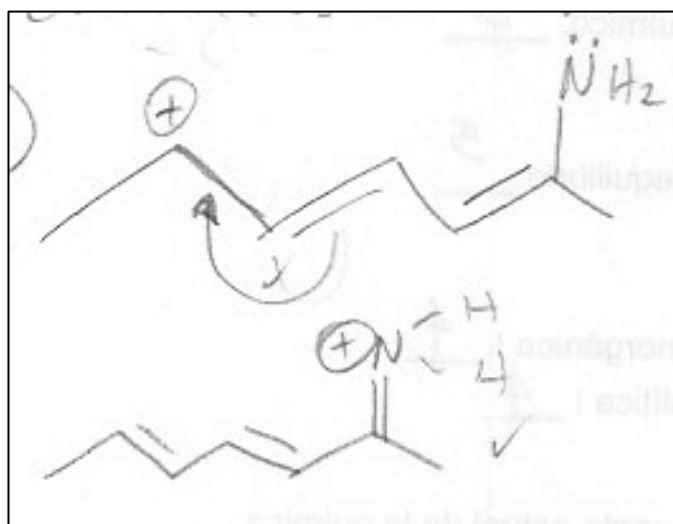


Figura 6.1. Sección de la respuesta dada por Dani a la pregunta 9 del cuestionario preliminar

Las estructuras de Lewis son presentadas conservando sus características estructurales para enlaces sigma y pi, aunque se olvida la asignación de los pares de electrones libres, mientras que las representaciones de las fórmulas estructurales son adecuadas, muestran las cadenas lineo angulares de forma regular consecuente, excepto en la estructura final de la solución a la pregunta 9, donde la geometría trigonal planar del Nitrógeno es representada sin conservar los ángulos característicos de 120 grados (figura 6,1). En esta misma figura, se muestra el desplazamiento de un par de electrones utilizando correctamente la flecha curva, puesto que estas parten del centro de los enlaces dobles y terminan en la nueva ubicación de los dobles enlaces. En cada etapa se asigna acertadamente la carga eléctrica positiva, y ésta se va desplazando a cada uno de los núcleos donde se desprende un respectivo par de electrones como consecuencia del proceso de resonancia.

Se hace evidente la preferencia de las representaciones estructurales, pues se observa que para las preguntas 6 y 7 se dibujaron las fórmulas estructurales que sirven de respuesta y en ninguno de los casos se escribió los nombres de las sustancias

Las lecturas de otras respuestas a las preguntas motivo de la indagación permiten afirmar que, las representaciones moleculares utilizadas en la resolución de los problemas acceden a identificar un conjunto de conceptos, como son la valencia, la coordinación, la geometría molecular y su disposición espacial relativo a las categorías establecidas. Se observa que, en las representaciones moleculares utilizadas hay un aceptable manejo de las relaciones espaciales, pues se nota que en algunas oportunidades los conectores que representan los enlaces químicos aparecen inconexos, lo cual da una sensación de desarticulación estructural.

En la escritura de las ecuaciones químicas está completamente descuidado el uso de las fases, adicional no se dibujan los pares de electrones libres, a excepción de la pregunta diez donde el enunciado los cita específicamente. Están utilizadas adecuadamente las cargas eléctricas en cuanto a su ubicación y sentido, ya sea pérdida o ganancia de electrones. En una oportunidad se ha utilizado la representación de cuñas y barras para aclarar una visión tridimensional de una sustancia. Y, por último, utiliza intermitentemente la notación de flechas curvas para representar los mecanismos de reacción.

Tabla 6.4 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Dani a la indagación preliminar.

Conclusión preliminar	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4	
Representaciones adecuadas para:	Símbolos químicos	Fórmulas moleculares	Valencia química	Fórmulas estructurales	Pares de electrones libres	Cargas eléctricas	Notación de Robinson	Geometría molecular
Siempre		✓	✓			✓		
Muchas veces	✓			✓			✓	✓
Algunas veces					✓			
Pocas veces								
Nunca								

Caso Cata

La descripción que utiliza para el modelo atómico se acerca al modelo cuántico, pero la frase que formula, “(...) alrededor girando en órbitas claramente definidas el electrón (...)”, hace pensar que el dominio conceptual no es el adecuado. En la gráfica 6.2 se observa el núcleo y una región difusa, nombrada “densidad electrónica”.

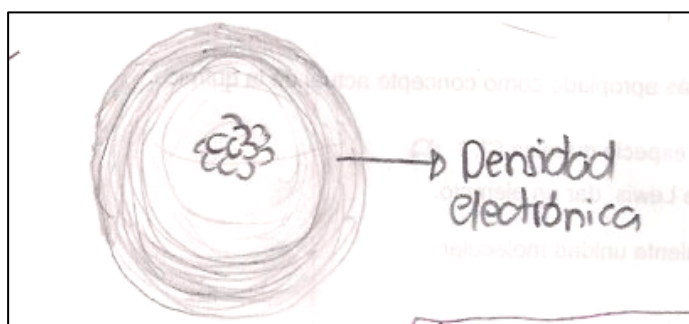


Figura 6.2. Sección de la respuesta dada por Cata a la pregunta número 1 del cuestionario preliminar.

En la respuesta dada a la pregunta 2 prefiere escribir el nombre químico de la sustancia cloro, aunque en las respuestas suministradas a otras preguntas son observadas correctamente las representaciones de otros símbolos químicos de sustancias elementales, tales como el nitrógeno, oxígeno, y carbono, los cuales no permiten identificar dificultades en este aspecto al poseer un símbolo constituido por una única letra mayúscula.

Dibuja adecuadamente las fórmulas moleculares de composición, al igual que los símbolos químicos que las constituyen, representa los ángulos y longitudes de enlace coherentes con la geometría molecular según la categoría 4 (ver figura 6.3). Respecto a la representación molecular, se observa una tendencia a dibujar los pares de electrones libres, sin embargo, en la respuesta a la pregunta 7 fue notoria, la única falencia encontrada, al dejar de representar un par de electrones sobre un grupo anión hidroxilo (ver figura 6.4); también se observa que reconoce las cargas eléctricas y la valencia química; en una ocasión utiliza la representación con orbitales atómicos para demostrar la geometría tetraédrica de un compuesto orgánico.

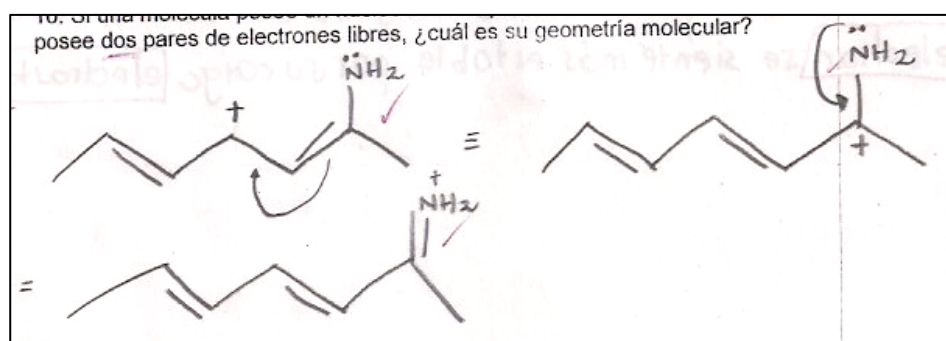


Figura 6.3. Respuesta dada por Cata a la pregunta número 9 del cuestionario preliminar.

En cuanto a la escritura de ecuaciones químicas, salta a la vista un detalle particular y es el uso del símbolo matemático de idéntico (\cong), el cual no es adecuado para una relación química que implica la transmutación de las sustancias. Olvida el uso de fases en la ecuación química y la asignación de un par de electrones libres anteriormente mencionados.

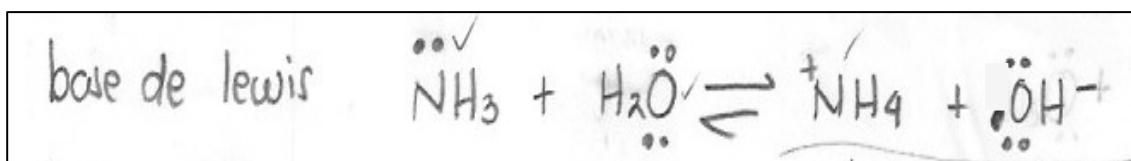


Figura 6.4. Respuesta de Cata a la pregunta número 7 del cuestionario preliminar.

También utiliza correctamente los movimientos de electrones a través de los mecanismos de reacción, observándose de dónde parten y a dónde llegan, siempre indicando que son los electrones quienes se mueven, generando cargas eléctricas bien representadas.

Tabla 6.5 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Cata a la indagación preliminar

Conclusión preliminar	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4	
Representaciones adecuadas para:	Símbolo: químicos	Fórmulas moleculares	Valencia química	Fórmulas estructurales	Pares de electrones libres	Cargas eléctricas	Notación de Robinson	Geometría molecular
Siempre		✓	✓	✓		✓	✓	✓
Muchas veces	✓				✓			
Algunas veces								
Pocas veces								
Nunca								

Caso Lina

Es interesante encontrar que no realiza el dibujo solicitado explícitamente para la pregunta 1, solo incluye un texto argumentativo respecto al modelo atómico y menciona los componentes principales. Dice que los electrones giran alrededor del núcleo y que el átomo es la unidad fundamental de todo el universo; además escribe “el átomo le da las características a cada sustancia”, situación que genera inquietudes sobre la comprensión del concepto de sustancia y su triada conceptual: sustancia elemental, simple y compuesta.

La representación realizada para la sustancia cloro es adecuada, muestra el símbolo químico acompañado de su correcta distribución electrónica (ver figura 6.5).

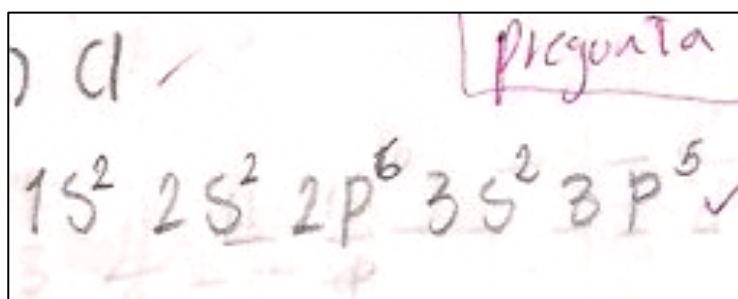


Figura 6.5. Respuesta de Lina a la pregunta número 2 del cuestionario preliminar.

Una característica observada permitió detectar una preferencia a las respuestas

con la omisión de representaciones de estructuras moleculares reconocido como concepto según la categoría 2, en cuatro oportunidades (respuestas a las preguntas 1, 3, 4, 10) solo se escribe texto, normalmente, muy simplificado donde argumenta sus decisiones. (ver figura 6.6.).

Una base Lewis, es la que tiene Pares de electrones libres para ceder.
Ej. El amoniacco

Figura 6.6. Respuesta de Lina a la pregunta número 7 del cuestionario preliminar.

Dibuja las fórmulas estructurales con pequeñas irregularidades en la asignación de enlaces, algunos más cortos que otros. Representa los símbolos químicos adecuadamente, e incluye los pares de electrones libres y las cargas eléctricas, pero en el momento de dibujar los desplazamientos de electrones omite algunas flechas curvas. Todas las que dibuja establecen acertadamente el origen y llegada (ver figura 6.7.) Para la pregunta diez responde con la palabra “tetraédrica”, aludiendo a la geometría de la sustancia. De nuevo no responde ilustrando su inferencia (ver figura 6.8.)

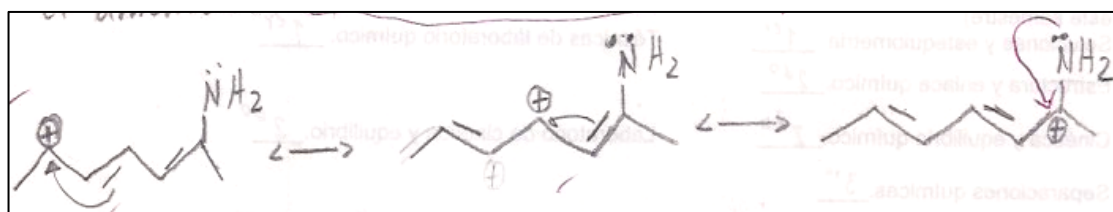


Figura 6.7. Respuesta de Lina a la pregunta número 9 del cuestionario preliminar.

Tetraedrica.

Figura 6.8. Respuesta de Lina a la pregunta número 10 del cuestionario preliminar.

Tabla 6.6 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Lina a la indagación preliminar.

Conclusión preliminar	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4	
Representaciones adecuadas para:	Símbolos químicos	Fórmulas moleculares	Valencia química	Fórmulas estructurales	Pares de electrones libres	Cargas eléctricas	Notación de Robinson	Geometría molecular
Siempre	✓		✓			✓		
Muchas veces					✓			
Algunas veces		✓					✓	✓
Pocas veces				✓				
Nunca								

Caso Alejo

Realiza una buena descripción del modelo atómico, diferenciando el núcleo (lo llama core) y la región externa que la define como nube electrónica. En su dibujo esquematiza una región interna con un tamaño grande y la periferia como una región difusa, donde menciona que es la región de mayor probabilidad de encontrar electrones, además, clasifica las partículas que componen el modelo y las ubica adecuadamente. (ver figura 6.9.).

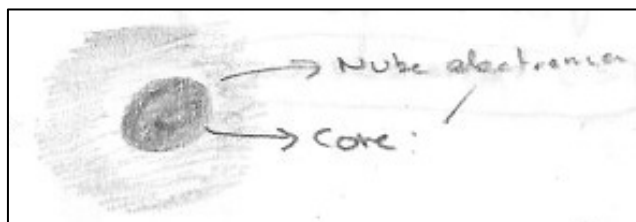


Figura 6.9. Respuesta de Alejo a la pregunta número 1 del cuestionario preliminar.

Representa los símbolos químicos adecuadamente en todos los casos. Dibuja las fórmulas estructurales, asignando las valencias, los pares de electrones libres y las cargas eléctricas. Cuando se forman iones, las longitudes y los ángulos de enlace, igualmente, son bien representados, lo que se observa en una vista clara de las fórmulas estructurales. Las ecuaciones químicas carecen de las fases de las sustancias, representa las flechas curvas acertadamente en el mecanismo de reacción. Así mismo, en las descripciones utiliza conceptos químicos con coherencia. La dificultad mayor aparece en el problema diez donde, a pesar de no reconocer la geometría molecular, emplea la

representación de orbitales atómicos híbridos espacialmente, asigna representaciones para los enlaces químicos utilizando la notación de cuñas y barras. Finalmente resuelve el problema de forma no adecuada, asignando una geometría tetraédrica (ver figura 6.10.)

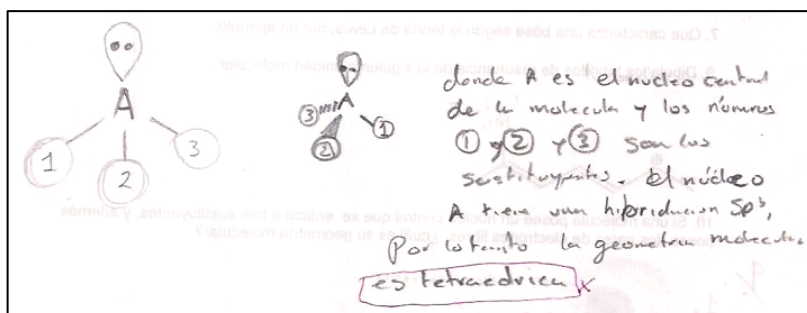


Figura 6.10. Respuesta de Alejo a la pregunta número 10 del cuestionario preliminar.

Tabla 6.7 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Alejo a la indagación preliminar.

Conclusión	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4	
Representaciones adecuadas para:	Símbolos químicos	Fórmulas moleculares	Valencia química	Fórmulas estructurales	Pares de electrones libres	Cargas eléctricas	Notación de Robinson	Geometría molecular
Siempre	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Muchas veces				✓				✓
Algunas veces								
Pocas veces								
Nunca								

Caso Niko

En base a las respuestas dadas y después de una entrevista se puede percibir que el estudiante establece una descripción acorde con el modelo atómico cuántico, menciona que en su centro hay un “protón quieto” respecto a los electrones (selecciona el Hidrógeno como ejemplo) después corrige diciendo que es un solo electrón. Identifica adecuadamente que las regiones más oscuras en su modelo son donde hay “más probabilidad de encontrar a los electrones” se infiere que posee apropiación del concepto.

La escritura del símbolo químico para la sustancia cloro se hace adecuadamente, de igual forma la representación de los símbolos químicos es apropiada en la solución de todos los ítems de la prueba. Al final se le ha recomendado mejorar el símbolo

químico que utiliza para el hidrógeno que, análogo con otros casos, se puede confundir con el número cuatro (ver figura 6.11).

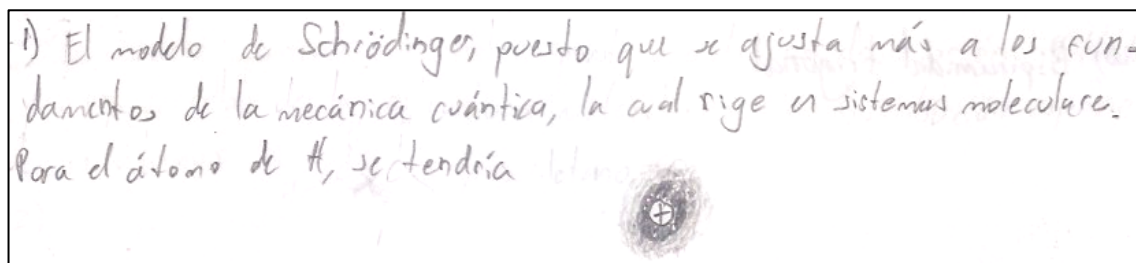


Figura 6.11. Sección de la respuesta dada por Niko a la pregunta número 1 del cuestionario preliminar.

Las estructuras de Lewis se muestran junto a sus características estructurales, son olvidados la asignación de los pares de electrones libres en pocos casos. Después de la entrevista, se puede definir que su tendencia es representarlos cuando es necesario “verlos” concretamente, para poder realizar algún tipo de procedimiento posteriormente. Las representaciones de las fórmulas estructurales son adecuadas, incluso utiliza las representaciones de cuñas y barras junto a cadenas lineo angulares, excepto en la estructura donde se pedía representar una estructura de Lewis para la pregunta 3, dibujada de forma completamente planar, aspecto característico de muchos estudiantes al usar las estructuras de Lewis.

Para la notación de Robinson de flechas curvas se presentaron dos aspectos importantes, el primero en la pregunta número 7 (ver figura 6.12) mostró una aplicación oportuna en la conversión de reactivos, las flechas salen y llegan de los lugares adecuados mostrando el flujo de electrones; sin embargo, en el segundo aspecto para las preguntas 8, 9 y el final de la 7 hay ausencia total de estas, se puede inferir que si un mecanismo es muy obvio para el estudiante su sistema cognitivo realiza las operaciones y omite las representaciones, como así se confirmó en la entrevista. Después de pasar por la etapa de resolución de problemas se podrá definir con certeza la veracidad de esta afirmación.

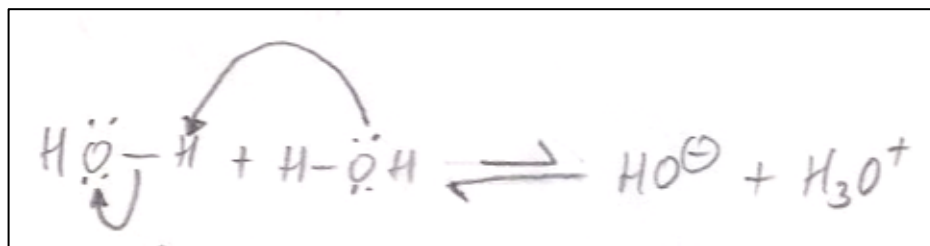


Figura 6.12. Respuesta dada por Niko a la pregunta número 7 del cuestionario preliminar.

Las demás respuestas permiten afirmar que las representaciones moleculares utilizadas dan razón de que los conceptos, tales como la valencia, la asignación de cargas eléctricas, la geometría molecular y su disposición espacial en relación a las categorías establecidas, están correctamente implementados. En la escritura de las ecuaciones químicas es intermitente el uso de las fases, no se dibujan los pares de electrones libres en ningún caso.

Tabla 6.8 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Niko a la indagación preliminar.

Conclusión preliminar	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4	
Representaciones adecuadas para:	Símbolos químicos	Fórmulas moleculares	Valencia química	Fórmulas estructurales	Pares de electrones libres	Cargas eléctricas	Notación de Robinson	Geometría molecular
Siempre		✓	✓			✓		
Muchas veces	✓			✓	✓			
Algunas veces							✓	
Pocas veces								
Nunca								

Caso Carlos

La descripción utilizada para el modelo atómico se fundamenta en un modelo matemático de la solución a la ecuación de Schrodinger, así el estudiante describe: “llamadas orbitales debido al comportamiento onda-partícula del electrón estos ocupan dichas regiones con cierta probabilidad de localización”. El uso de términos técnicos y después de la entrevista nos da la idea de una comprensión del concepto; sin embargo, su representación muestra un conjunto de orbitales atómicos que no está relacionado completamente con la noción de densidad electrónica según el modelo cuántico.

Para la pregunta número 2 su respuesta muestra una adecuada representación del símbolo químico del cloro y en todos los demás casos se observan bien escritos los símbolos químicos, como para el Nitrógeno, Boro, Oxígeno e Hidrógeno. Tras comentar que se debe utilizar “la primera letra mayúscula y la segunda minúscula” no se evidencian dificultades en este aspecto. Las fórmulas químicas, que componen el segundo criterio para la categoría uno, se encuentran bien representadas y con los subíndices en todos los casos.

Para la categoría dos, de igual forma, son oportunas las ilustraciones de las fórmulas estructurales, se conservan los ángulos y equivalencias en las longitudes de enlace, las moléculas lineo angulares no se distorsionan, lo que permite vislumbrar simultáneamente la valencia química de dichos compuestos sin ninguna alteración en las representaciones. En relación con la categoría 3, solo en una oportunidad no fueron representados los pares de electrones libres para la parte final de respuesta a la pregunta 7 (ver figura 6.13).

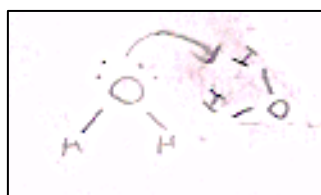


Figura 6.13. Sección de la respuesta dada por Carlos a la pregunta 7 del cuestionario preliminar.

Después de la entrevista, Carlos menciona categóricamente que es importante dibujar dichos pares para tener una buena representación. Las cargas eléctricas presentaron dos posiciones interesantes, en general fueron asignadas y ubicadas, aunque en la asignación de un momento dipolar, concepto que se encuentra relacionado con la categoría los vectores, se dibujaron en sentido inverso donde Carlos respondió que no estaba seguro de cómo asignar su ubicación; después de la respectiva aclaración, menciona que una vez terminó la prueba buscó cómo era la respuesta para la pregunta y declaró que evidenció el error.

Por último, en la categoría 4 la respuesta de la pregunta 7 indica que la notación de Robinson es aplicada con imprecisiones, la flecha curva parte de una región central de la molécula y llega a una región libre de la molécula receptora; nuevamente se ofrece una aclaración al respecto de dónde deben partir y a dónde deben llegar los pares de electrones y la importancia de la notación para ayudar a la comprensión. Finalmente, en

las siguientes preguntas que involucran movimiento de pares de electrones se encontró ausencia completa de flechas curvas (ver figura 6.14), Carlos argumenta que cuando es posible hacer el movimiento mentalmente no considera el hecho de representarlo y que además el problema no pedía explícitamente que lo hiciera, no niega la importancia de hacer la representación.

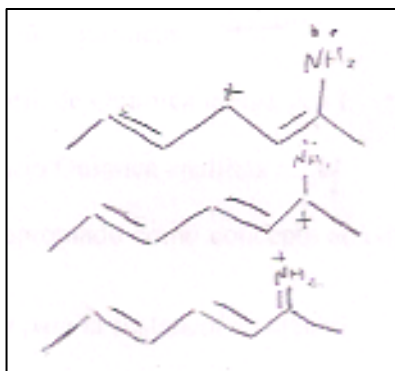


Figura 6.14. Sección de la respuesta dada por Carlos a la pregunta 9 del cuestionario preliminar.

Tabla 6.9 Conclusión temporal ordenada por categorías para las respuestas dadas por Carlos a la indagación preliminar.

Conclusión preliminar	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4	
Representaciones adecuadas para:	Símbolos químicos	Fórmulas moleculares	Valencia química	Fórmulas estructurales	Pares de electrones libres	Cargas eléctricas	Notación de Robinson	Geometría molecular
Siempre	✓	✓	✓	✓		✓		
Muchas veces					✓			✓
Algunas veces							✓	
Pocas veces								
Nunca								

Después del análisis anterior se ha encontrado que, si bien los estudiantes usan los signos en la notación referente al lenguaje químico, no tienen aún significados claros y transferibles, es más un asunto de devolver información para cumplir con el requerimiento de la tarea. Por lo tanto, el desarrollo de las demás estrategias para la obtención de registros permitirá hacer un análisis que, finalmente mostrará mediante la clasificación propuesta por niveles (ver tabla 4.3.) el desempeño de cada uno de los estudiantes.

6.4 Análisis del juego *Químimo* previo a la resolución de problemas de reactividad química

Esta actividad se desarrolló en el aula de clases durante las primeras secciones del curso de Química Orgánica Uno y la participación de los 24 estudiantes, con la finalidad de que los estudiantes puedan adquirir un dominio conceptual sobre los primeros elementos del lenguaje químico, símbolos químicos de sustancias elementales, nombres de las sustancias elementales y sus relaciones con el número atómico y la valencia química.

El juego comienza con un grupo de 5 estudiantes, donde cada uno recibe 7 tarjetas entre tres tipos diferentes, las cuales contienen la información relativa a duplas entre símbolo químico, número atómico y valencia química para los primeros 36 elementos químicos de la tabla periódica, como se puede ver a continuación:

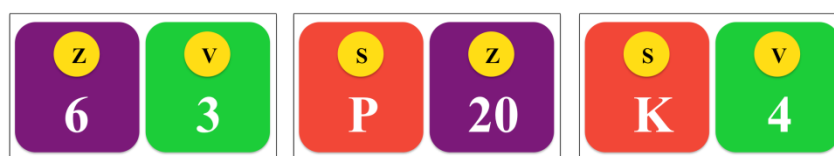


Figura 6.15. Estructura general de los tres tipos de cartas utilizadas en el juego Químimo

Una vez se comienza, la idea es relacionar las cartas según la información química que contienen; se prohíbe las relaciones idénticas, es decir, que el número atómico 6 no puede emparentarse con otra carta que contenga la misma información, sino que debe emparentarse bien sea con la ficha que contenga la valencia (IV) o el símbolo (C).

Al comienzo, durante el desarrollo es explícita la dificultad para establecer relaciones de número atómico, símbolo y valencia química. Dificultad manifiesta en la tendencia a responder con una variable puntual y un largo período de indagación para posicionar las cartas y establecer una de las relaciones (S-V, Z-V, S-Z), lo que compromete a los estudiantes de modo constante a hacer una lectura significativa de la estructura de la tabla periódica en la búsqueda de las características y relaciones presentes en ese momento del juego. Leer el grupo, el período, las variables Z, V y S y cómo varían, es una constante que obliga a abandonar la insistencia en relaciones puntuales y /o lineales, y a establecer las relaciones cruzadas que se buscan instaurar, por ejemplo, Z vs V. Este tipo de acciones son compartidas con una de las premisas del

Aprendizaje Significativo Crítico, que establece relaciones no simétricas y multi variadas entre esta triada de conceptos.

La estructura del juego condiciona que su desarrollo se realice con una lectura significativa permanente del formato largo de la tabla periódica, lo que exige, de modo constante, volver a los significados para replantear relaciones inadecuadas y expresarlas de nuevo de modo acertado, favoreciendo de este modo la diferenciación progresiva y la reconciliación integradora de conceptos. Se evidencia durante el juego un alto interés y motivación de los estudiantes por superar las dificultades e imprecisiones, al trabajar de modo colaborativo y encontrar, mediante el juego, una forma innovadora de interaccionar con los conceptos y relaciones entre valencia química, número atómico y símbolo.

Terminado el juego se realizó una encuesta descriptiva acerca de la experiencia, constituida por cinco preguntas para expresar las actitudes desarrolladas por los estudiantes y su percepción positiva frente al aprendizaje.

Tabla 6.10 Opiniones de los 24 estudiantes acerca de su participación en el juego Químimo.

Preguntas	Porcentaje (N=24)		
	Sí	No	
¿Es divertido el juego?	Sí 100%	No 0%	
¿Considera que se aprenden relaciones nuevas entre los conceptos S-V, S-Z y V-Z al usar el juego?	Sí 100%	No 0%	
¿Qué grado de dificultad le asignas al juego?	Alto 22%	Medio 70%	Bajo 8%
¿Consideras reunirte en alguno de tus tiempos libres para jugar de nuevo?	Sí 100%	No 0%	
¿Consideras el invitar a algunos de tus compañeros a conocer y participar del juego?	Sí 82%	No 18%	

En particular, para el caso del primer grupo conformado por cuatro estudiantes, se pudo evidenciar lo siguiente:

Dani realizó una participación muy entusiasta durante todos los encuentros, avanzó rápido en el uso de nuevas relaciones para los conceptos, siempre preguntaba a sus compañeros sobre si una carta se podía usar, como si buscara su aprobación antes de

su turno de juego; algunas veces propuso relaciones inadecuadas, lo cual condujo a la respectiva sanción que proponen las reglas del juego. Lo más notorio fue su avance en las relaciones entre nombres y símbolos químicos, la mayoría de los desaciertos fueron en las relaciones entre el número atómico y los símbolos, en ninguna oportunidad pudo ganar alguna partida. El aprendizaje significativo con respecto a los símbolos químicos elementales mostró un avance, pero no fue del todo adecuado como se evidenciará más adelante.

De igual forma, Cata estuvo muy participativa en la actividad, inquieta por saber qué fichas tenían sus compañeros de al lado, preguntaba y sugería correcciones en todas las jugadas que no eran adecuadas. Su principal avance fue establecer nuevas relaciones entre los elementos del bloque p, de quienes a partir del tercer juego ya reconocía los símbolos, nombres, números atómicos y muchas de las valencias, indicando así un posible Aprendizaje Significativo representacional conceptual. Pudo salir victoriosa en dos oportunidades, siempre expresándolo con emotividad. Al final, comentó “fue muy divertida la clase, todas deberían ser así”.

Por su parte, Lina también participó activamente, no realizaba preguntas y solo comentaba con una de sus compañeras en voz baja, se la veía muy atenta a los movimientos que todos hacían. Fue interesante ver que algunas relaciones que en las primeras partidas las estableció mal, pasaron luego a ser corregidas y bien aplicadas, por ejemplo, la relación entre Galio y $Z= 31$, Azufre y valencia (VI), lo que demostró una apropiación de los tres conceptos en términos del Aprendizaje Significativo representacional incluyendo relaciones entre sus significados. No pudo ganar ninguna partida, pero su interés fue notorio.

Alejo presentó muy buenos resultados en las contiendas, estuvo a punto de ganar tres partidas con una última carta, mostró un dominio óptimo de las relaciones y, en muy pocos casos, cometió errores, prefería pasar el turno y solo colocar las fichas cuando estaba muy seguro de que las relaciones estaban bien establecidas, preguntaba, hacía correcciones y objetaba, la experiencia muestra indicios de un Aprendizaje Significativo conceptual proposicional. Finalmente, expresó estar satisfecho con la actividad y recomendó que fuese usada en cursos anteriores.

En el caso de los otros dos estudiantes, Niko y Carlos, la actividad fue presentada a comienzo del curso de Química Orgánica Uno y su participación fue fenomenal, muy activos e interesados. Niko tomaba siempre la palabra indicando qué

jugador debía continuar, aplicaba las reglas de juego con rigurosidad, tomaba nota en su formato vacío de todas las relaciones entre propiedades que se proponían en el juego, intervenía al detectar algún fallo que ya reconocía, comentó que la experiencia aporta mucho dinamismo a la clase y que se deberían incluir más juegos y actividades que clases tradicionales. Al final resultó ganador en una oportunidad lo que le llenó de satisfacción entre bromas de sus compañeros.

Por su parte Carlos muy participativo prefería callar prestando mucha atención. En tres ocasiones puso cartas inadecuadas que fueron detectadas por sus compañeros de juego y no logró ganar ninguna de las tres partidas, mencionó que había aprendido “a ver con la mente” la tabla periódica e imaginar cómo fue el proceso de Mendeléiev para proponerla, también elogió la actividad y la recomendaría a sus otros compañeros.

En definitiva, fue valioso reconocer la importancia de la dinámica en grupo en la participación de los estudiantes en el juego, ellos actuaron unas veces como jueces y otras como acusado. El conocimiento implicado se comparte a manera de información puntual y son ellos mismos quienes en conjunto aplicaban las reglas como leyes, y al ver que sus compañeros tenían cartas con posibilidad de ser jugadas y no las utilizaban mostraban solidaridad; quienes aplicaban mal las cartas inmediatamente recibían la penitencia, posturas socialmente aceptadas que permitieron la regulación del conocimiento.

Por último, fue valioso reconocer la importancia de la dinámica de grupo en la participación de los estudiantes en el juego. Se vieron reflejados dos de los principios del Aprendizaje Significativo Crítico, ‘la no centralización en el libro de texto’ que aporta el juego por sí mismo, y el de ‘la interacción social y del cuestionamiento’ cuando se advierte que los participantes actúan unas veces como jueces y otras como acusados. El conocimiento implicado se compartía a manera de información puntual, fueron ellos mismos como comunidad quienes aplicaban las reglas a forma de leyes y, al ver que sus compañeros tenían cartas con posibilidad de ser jugadas y no las utilizaban, mostraban solidaridad; a quienes usaban mal las cartas inmediatamente recibían la penitencia, posturas socialmente aceptadas, que permitieron la regulación del conocimiento.

6.5 Diario *semiestructurado*: descripción de la preparación de la prueba parcial ‘principios de reactividad’ del curso de *Orgánica Uno*

Como implementación de las estrategias de observación y para conocer el comportamiento académico extra-aula, cuatro de los estudiantes del Estudio de Casos, al igual que el grupo de clase, elaboraron un diario *semiestructurado*. A través de su análisis se pretende identificar el tipo de dedicación que cada uno de ellos pone de manifiesto a la hora de preparar una prueba parcial; se consideró que dicha actividad tiene una ligera relación con el principio programático de ‘la interacción social y del cuestionamiento’, en razón de establecer autopreguntas en el momento de complementar la información solicitada diariamente y cuando el estudiante reflexiona sobre su dedicación personal con el curso y su compromiso por el aprendizaje.

Concretamente, la prueba parcial revisada es la cuatro del curso *Química Orgánica Uno*, denominada ‘principios de reactividad’. Esta prueba es muy importante debido a que considera todo el contenido tratado en la asignatura, es la prueba final que recopila todos los saberes aprendidos durante su desarrollo y posteriormente se conecta con el tópico de interés que son las reacciones de adición nucleofílica de aldehídos y cetonas, específico del curso de *Química Orgánica Dos*.

Tabla 6.11 Parámetros extraídos de los diarios *semiestructurados* de los cuatro estudiantes inscritos en la investigación

Parámetro	Dani	Lina	Cata	Alejo
Tiempo dedicado a la preparación (días)	30	30	30	30
Número de horas invertidas en la preparación	32	45	37	32
Promedio de horas dedicadas por día	1.07	1.5	1.23	1.07
Número de eventos reportados como momentos de estudio	8	13	16	15
Número de horas dedicadas el día antes de la prueba	7	6.5	7.5	5
Lugar de preferencia para estudiar	Casa	Casa	Biblioteca	Casa
Preferencia estudio en grupos	Individual	Variable	Variable	Individual
	6/8	1-4	1-4	12/15
Otra actividad desarrollada paralela a las horas de estudio	Escuchar música	Escuchar música	Lectura libros de literatura	Escuchar música, chatear

El diario ha consistido en una recopilación de información personal acerca de las características que cada estudiante presenta en el momento de dedicar su tiempo para preparar una prueba de evaluación. Se pide que cada estudiante complete la información requerida a lo largo de los días previos a la prueba. Los datos aportados son recolectados en una hoja con formato Excel diseñada por el investigador, la cual puede ser monitoreada a medida que avanzan las clases y se desarrollan otras actividades (ver bitácoras en Anexo B). Así se muestra, en la tabla 6.11, el resumen de los parámetros extraídos durante esta primera indagación del comportamiento personal.

En Colombia, el concepto de crédito académico se ha mantenido igual desde hace unos diez años, en la actualidad se tiene como última versión la del Decreto 1295 de abril de 2010 que dice:

Artículo 13. Número de créditos de la actividad académica. El número de créditos de una actividad académica en el plan de estudios será aquel que resulte de dividir en cuarenta y ocho (48) el número total de horas que debe emplear el estudiante para cumplir satisfactoriamente las metas de aprendizaje (Ministerio de Educación Nacional, 2010).

Esto significa que un crédito académico equivale a cuarenta y ocho horas de trabajo académico del estudiante, que comprende las horas con acompañamiento directo del docente y las horas de trabajo independiente que el estudiante debe dedicar a la realización de actividades de estudio, prácticas u otras que sean necesarias para alcanzar las metas de aprendizaje. Esta definición resulta útil para entender el tiempo personal que cada uno de los estudiantes dedicó a la preparación de esta prueba y, por lo tanto, es descriptivo¹.

Caso Dani

Dani informa que ha dedicado 32 horas de estudio para preparar la prueba, sin embargo, comenta que este tiempo no es el suficiente para quedar satisfecha con la asimilación de conceptos que ella supone necesarios para lograr un buen desempeño. Dado que el curso de ‘Química Orgánica Uno’ tiene asignados cuatro créditos, el total

¹ Nota: para los casos 5 Niko y 6 Carlos no fue posible desarrollar la presente intervención dado que para el período académico donde debería ser implementada, el investigador se encontraba por fuera de la ciudad y ya no era posible coordinar la implementación.

de horas dedicadas por un estudiante debe ser 192 horas totales, de las cuales 64 horas corresponden al tiempo de clases y la evaluación regular, sin incluir el examen final del curso, esto conlleva a una asignación de trabajo personal de 128 horas distribuidas a lo largo del semestre académico.

Las 32 horas corresponden a una cuarta parte del total del tiempo de dedicación personal y pueden ser consideradas adecuadas para preparar dicha prueba, puesto que el total de clases correspondiente al tema fue dictado en cuatro semanas, equivalente a una cuarta parte del semestre académico; el número de veces reportado como eventos de estudio corresponde a ocho, muy bajo si se considera un periodo de 30 días, entre una semana después del comienzo de las clases y el día del examen. Ocho eventos son equivalentes a dos periodos de estudio en cada semana, proporcional a cuatro horas de estudio en cada evento.

Dani prefiere estudiar sola y en su casa, dice que las personas la distraen y termina dedicando más tiempo a otras cosas no importantes. Una situación de interés particular es el tiempo de estudio que dedica un día antes de la prueba, correspondiente a siete horas. Este valor es próximo a una quinta parte del tiempo total registrado y no es de extrañar este dato ya que, normalmente, todos los estudiantes dedican casi todo el tiempo de estudio el día anterior a la prueba. Es un indicio clásico de la mala distribución del tiempo que tienen por costumbre los escolares.

Caso Cata

Cata indica que ha utilizado 37 horas para la preparación de la prueba, las cuales son reportadas en 17 eventos; es bastante favorable dado que indica un poco más de la mitad de los días disponibles para la preparación. La preferencia del lugar de estudio es la biblioteca universitaria, acudiendo 11 veces para estudiar de forma individual y 6 para estudio en grupos de dos o tres personas. El día antes de la prueba dedicó seis horas. El dato más interesante es el hecho de leer libros de literatura en los periodos comprendidos entre horas de estudio, pues según dice le ayuda a descansar y cambiar el tema académico. Cata considera que posiblemente debería dedicar un poco más de tiempo a preparar la prueba, pero se siente satisfecha con las horas estudiadas y los días que ha dedicado.

Caso Lina

Lina en su reporte describe que ha dedicado 45 horas de estudio para preparar la prueba. Comenta que este tiempo es suficiente para quedar satisfecha con la asimilación de conceptos que ella supone necesarios para lograr un buen desempeño. 45 horas corresponden a un poco más de un tercio del tiempo total de dedicación personal (128 horas). Es un tiempo por encima del que se estima adecuado para preparar dicha prueba, y, efectivamente, Lina indica con mucha confianza que es un tiempo suficiente para poder asimilar los conceptos discutidos en las sesiones de clase.

El número reportado como eventos de estudio corresponde a 13, que es un valor apropiado si se considera que está muy cercano a tener un evento de estudio cada dos días de aproximadamente 3,5 horas. Lina prefiere estudiar en casa en grupos variables de 1 a 4 participantes y también indica que le gusta escuchar música. El tiempo que dedicó al estudio un día antes de la prueba fue de 6,5 horas, valor un poco más alto que la mitad del tiempo que un estudiante pasa, en promedio, en la Universidad, que suele ser 10 horas. De nuevo no es de extrañar este dato pues, normalmente, todos los estudiantes dedican casi todo el tiempo de estudio el día anterior a la prueba.

Caso Alejo

Alejo indica que utilizó 32 horas para la preparación del examen, divididas en 15 eventos, situación reconocida como favorable puesto que dedicó la mitad de los días disponibles para preparar la prueba, aunque las recomendaciones impartidas desde el comienzo de la carrera señalan que cada día sea dedicara una parte del tiempo a cada una de las materias cursadas ese semestre; se debe recordar que los 30 días hábiles que disponen los estudiantes incluyen los fines de semana.

Se puede ver que la preferencia de estudio se generaliza como individual, 12 de los 15 eventos son reportados como estudio personal individual y el lugar preferente de estudio es su casa. Simultáneamente, durante las horas de estudio, Alejo habla con sus amigos por el chat y escucha música, argumenta que una buena parte del tiempo del chat lo usan para discutir algunos aspectos de la asignatura. Alejo comenta que el tiempo dedicado no ha sido suficiente, argumenta que los otros cursos también demandan tiempo y que es en los días cercanos al examen cuando los estudiantes hacen su mayor esfuerzo en preparar las pruebas.

En términos generales, los estudiantes mencionan que el tiempo dedicado a la preparación de la prueba no es suficiente, solo uno de los estudiantes menciona que el tiempo dedicado es adecuado, con una dedicación total de 45 horas. La pista que genera entonces el motivo por el que no se dedica el tiempo apropiado a la preparación de la prueba es la carga académica que se posee, para lo cual se evidencia lo siguiente: para el cuarto semestre los estudiantes de Química según el programa académico cursan un total de cinco cursos teóricos y cuatro experimentales, más un curso formación ciudadana.

Según la definición de crédito académico suministrada por el Ministerio de Educación Nacional, un crédito es equivalente a 48 horas de trabajo. El total de créditos académicos que debe matricular un estudiante en el cuarto semestre es de 22, correspondientes a diez cursos, los cuales representan 1088 horas de trabajo en un periodo de 16 semanas (ver tabla 6.12). Esta observación muestra una relación inusual si se compara con una jornada laboral de un empleado regular, quien reporta un total de 48 horas de trabajo semanales en seis días laborales, correspondiente a 8 h/día. Según esta lectura, cada estudiante debe dedicar 68 horas por semana, equivalente a 11,3 h/día para seis días por semana a su labor académica.

Tabla 6.12 Total de cursos, créditos académicos y horas de dedicación, para el cuarto semestre de los estudiantes de Química de la Universidad de Antioquia

Cursos para el cuarto semestre, programa de Química	Créditos por asignatura	Horas de dedicación
Física II	4	192
Laboratorio de Física II	1	48
Química Orgánica I	4	192
Lab. de Química Orgánica I	1	48
Química Analítica II	4	192
Laboratorio de Química Analítica II	1	48
Fisicoquímica I	4	192
Laboratorio de Físico-Química I	1	48
Manejo de la Literatura Química	2	96
Formación Ciudadana y Constitucional	0	32
TOTAL POR SEMESTRE	22	1.088

Este dato arroja de inmediato una respuesta preliminar al interrogante, ¿por qué los estudiantes mencionan que el tiempo dedicado a la preparación de la prueba no es suficiente? 11,3 horas diarias de trabajo parece ser un valor muy alto en tiempo para ser dedicado solo a la actividad académica; además este dato no incluye el tiempo dedicado a las horas de almuerzo y transporte, se debe reflexionar en el tiempo disponible para actividades, tales como: lúdica, dedicación familiar, relación afectiva, religión, hobbies y descanso.

En consecuencia, al parecer la Universidad presenta un pensum sobrecargado en tiempo de dedicación a la actividad académica y descuida otros aspectos asociados a la flexibilidad, las relaciones sociales, el deporte, la lectura y la recreación. Esta causa que refleja la inconformidad con el tiempo disponible, incluso para las actividades propias del programa, son sin lugar a duda una de las consideraciones a reflexionar para próximas explicaciones acerca del desempeño académico.

6.6 Análisis de la actividad *Sudoku* de grupos funcionales previo a la resolución de problemas de reactividad química

Durante el proceso de aprendizaje, la capacidad de memorizar información juega un papel importante, puesto que algunas veces son memorizados datos, palabras o estructuras, por ejemplo: una vez instaladas en la memoria constituyen una forma de aprendizaje mecánico que a medida que se relacionan y diferencian con nueva información, toman la ruta hacia del aprendizaje significativo. Los planes de estudios de Química y, particularmente, de Química Orgánica incluyen gran cantidad de material que requiere de memorización y, a menudo, incluye distinciones entre información bastante similares. Los estudiantes no se prestan motivados en estas tareas, lo cual dificulta su asimilación. Actividades como el Sudoku propuesta por Crute y Myers (2007) son un método que hace estas tareas más interesantes.

EL Sudoku, categorizado como un rompecabezas, se ha vuelto popular en los últimos años y aparece, rutinariamente, en medios como periódicos, libros de rompecabezas y sitios web donde tradicionalmente se usan números; en esta propuesta se introduce una mezcla de conceptos, por ejemplo: grupos funcionales e incluye los nombres, fórmulas estructurales, fórmulas de composición, variaciones estructurales como alcoholes primarios y secundarios, abreviaturas estructurales para aldehídos y ácidos carboxílicos, términos muy utilizados por todos los químicos al compartir un

La actividad fue realizada en el curso de Química Orgánica Uno con los 24 estudiantes y, posteriormente, en el semestre 2018-2 con el grupo donde participaron Niko y Carlos. Sus comentarios generales indican que el sudoku trabajado, en general, fue útil para aprender sobre grupos funcionales. Cata menciona: “Para mí fue muy buena la actividad pues aprendí varias formas de ver las estructuras y de poner cuidado al dibujar”.

Todo el grupo calificó la actividad como agradable y mejor que los métodos tradicionales de memorización. Hubo un estudiante que confesó que reemplazó las estructuras y nombres químicos por números, lo que supuso una transformación doble que, aunque no permitió el objetivo completo de la actividad, si lo obligó a ser reflexivo en la lectura de la información química. En la figura 6.16, como ejemplo, se presenta el Sudoku elaborado por Alejo.

Dani, Cata, Lina, Alejo, Niko y Carlos resolvieron completamente la actividad. Las únicas deficiencias encontradas fueron la asignación de pares de electrones libres en las fórmulas químicas estructurales y algunas de las representaciones estructurales presentaban pequeñas modificaciones, atribuibles al espacio disponible en las casillas. Las tres estudiantes y Carlos utilizaron las mismas estructuras para complementar las casillas, mientras que Alejo y Niko fueron quienes representaron diferentes estructuras a las presentadas, originalmente, en la tarea y en muchos de los casos iban acompañadas del nombre del grupo funcional.

Tabla 6.13 Calificaciones concedidas a los seis estudiantes de los Casos de solución que dieron al Sudoku de grupos funcionales

Descripción de la solución al Sudoku	Dani	Cata	Lina	Alejo	Niko	Carlos
Identificación grupos funcionales	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Representación con fórmulas estructurales	Bueno	Bueno	Regular	Excelente	Excelente	Bueno
Asignación de pares de electrones libre	Casi siempre	Algunas veces	Pocas veces	Casi siempre	Nunca	Pocas veces
Solución del Sudoku	Muy buena	Muy buena	Buena	Excelente	Muy buena	Muy buena

En la tabla 6.13 se presentan las calificaciones obtenidas por los seis estudiantes de los Casos una vez analizados los Sudokus de grupos funcionales que elaboraron:

Fundamentalmente, la actividad favorece un aprendizaje significativo representacional, necesario para acceder a la asimilación de conceptos más complejos cuando se introduzcan los mecanismos de reacción químicos. Este tipo de experiencia fue altamente valorada por todos los estudiantes, quienes reconocen la importancia de utilizar herramientas que dinamicen el aprendizaje, que es coherente con el principio programático de ‘la no centralización en el libro de texto’, al utilizarse un material potencialmente significativo alternativo a la instrucción, dejando a un lado las tradicionales listas de grupos funcionales, e incluir el juego como componente didáctico de las clases.

6.7 Resolución de problemas, descripción del significado atribuido a las reacciones de adición nucleofílica de aldehídos y cetonas

Durante un periodo de 18 semanas, los estudiantes trabajaron en la resolución de un conjunto de 20 problemas químicos asociados con la reactividad química, adición nucleofílica al grupo carbonilo de aldehídos y cetonas, acompañados de discusiones y asesorías junto al profesor investigador. El conjunto de problemas fue presentado en orden creciente de dificultad relativo al grado de abstracción y de generalidad de los conceptos a ser utilizados en cada etapa.

Las respuestas dadas por los estudiantes a las veinte situaciones planteadas en los problemas se analizaron y clasificaron en un grupo de cinco categorías. Cada categoría incluye un conjunto de conceptos químicos que fueron organizados para facilitar el análisis a partir de los registros obtenidos por parte de los estudiantes y, posteriormente, identificar si es reiterativa su presencia o ausencia a medida que cambia el grado de dificultad de los problemas.

Las tres primeras categorías incluyen los conceptos más básicos y en las dos últimas (4, 5) se encuentran conceptos menos recurrentes en la totalidad de problemas, pero de igual forma importantes para el análisis de resultados. Algunos de los problemas son presentados con dos o tres tipos de enunciados diferentes, ya sean presentados con modificaciones en el texto, en las estructuras químicas o en ambos (metodología análoga al trabajo publicado por Flynn y Featherstone (2017) y pretenden identificar las

preferencias y diferencias en su resolución. Estos problemas están relacionados, pero con enunciados diferentes, poseen un alcance similar en cuanto al dominio conceptual se refiere.

En la tabla 6.14 se muestra los números de los problemas propuestos durante la intervención docente que, con enunciados diferentes, requieren del mismo dominio conceptual para responderlos científicamente.

Tabla 6.14 Clasificación de los problemas propuestos con enunciados relacionados entre sí.

Similitud A	Similitud B	Similitud C	Similitud D	Similitud E	Similitud F
1 y 2	3 y 4	7, 8 y 9	10 y 11	12 y 13	14, 15 y 16

A continuación, se describe los indicadores incluidos en cada una de las cinco categorías:

Categoría 1. La escritura para el conjunto de:

Símbolos químicos elementales: se refiere a la escritura adecuada de los símbolos químicos, primera letra mayúscula y siguiente minúscula, tipo imprenta.

Fórmulas químicas moleculares y unidades fórmula: relacionada con una adecuada representación de las fórmulas químicas, símbolos químicos y subíndices que indican la composición y relación entre sustancias elementales.

Ecuación química: relacionada con las fases de las sustancias participantes, las condiciones de reacción y las fórmulas químicas moleculares.

Categoría 2. La representación para:

Valencia química: se refiere a la capacidad de combinación química de las sustancias; también interesa su interpretación en la representación de fórmulas químicas estructurales y de composición.

Fórmula química estructural: relacionada con la representación estructural de las sustancias participantes.

Ecuación química estructural: relacionada con la estructura molecular, fases y condiciones de reacción; importante por ser preliminar a la representación de los mecanismos de reacción.

Categoría 3. La representación para:

Pares de electrones libres: relacionada con la representación (o ausencia) y la ubicación intramolecular.

Cargas eléctricas: relativo a su representación, asignación y ubicación intramolecular.

Aniones y cationes: referido a su identificación y representación, como intermedios y productos de reacción.

Polaridad: se refiere a su comprensión, el flujo de densidades electrónicas, sectores aceptores y donadores de dichas densidades.

Categoría 4. La representación para:

Notación de Robinson: indica el movimiento de los electrones a lo largo del mecanismo de reacción, es decir, de dónde parten y a dónde llegan temporal o definitivamente, utilizando flechas curvas.

Mecanismo de reacción: referente a como se dibuja globalmente la situación de la reacción química; incluye etapas, intermedios y medio de la reacción, ya sea ácido, básico o neutro (polar o no polar).

Categoría 5. La representación para:

Geometría molecular: relacionado con la identificación interpretación y representación.

Orbitales: en función de su representación, identificación e interpretación.

Conformación: relativo a su identificación, descripción, y asignación.

Estereoquímica: relativo a su identificación, interpretación, descripción, y asignación.

El conjunto de veinte problemas corresponde a una construcción secuencial de enunciados con aumento gradual de su dificultad; los primeros 18 problemas fueron propuestos por el investigador, el problema número 19 es de autoría del profesor León Felipe Otálvaro del Instituto de Química de la Universidad de Antioquia, y el problema 20 aparece como problema propuesto en el libro de texto *Organic Chemistry: structure and function* by Peter Vollhardt y Neil E. Schore (Vollhardt y Schore, 2005).

Caso Dani

Categoría uno: hace referencia al conjunto de '*símbolos químicos elementales*', '*fórmulas químicas moleculares*' y '*unidades fórmula*' y *ecuaciones químicas*. En lo que respecta a este conjunto de conceptos, la importancia de la comunicación describe como primer componente del lenguaje químico un conjunto de 118 sustancias elementales con las cuales, a través de procesos de combinación, son formadas las sustancias simples y las compuestas, fórmulas moleculares y unidades fórmula; con ellas se escriben las ecuaciones químicas, las cuales construyen el andamiaje de la representación química.

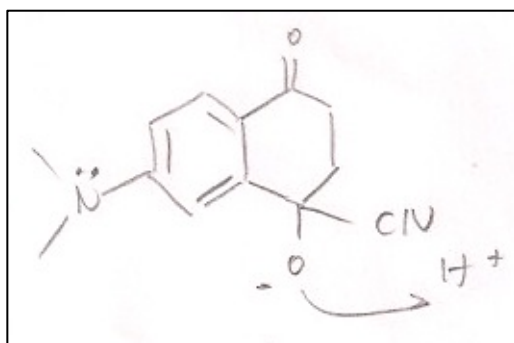


Figura 6.17. Sección de la resolución al problema número 14 realizada por Dani.

La estudiante escribe símbolos elementales químicos a lo largo de la resolución de los 20 problemas y se observa en sus respuestas tanto representaciones adecuadas como no adecuadas. Dani expresa en el desarrollo de algunos problemas una representación de los símbolos elementales no funcional, ejemplo de esta situación es la respuesta al problema 14, mostrado en la figura 6.17.

En este caso, los símbolos químicos del Oxígeno son mostrados con letras minúsculas. Esta clase de representación ha generado dificultades en la interpretación de los enunciados, por ejemplo, cuando se escribe la fórmula de composición del Monóxido de Carbono, esta puede dar interpretaciones diferentes con el símbolo químico del Cobalto (CO, Co) si se escribe la letra “o” en minúscula. También se puede observar el símbolo para el grupo funcional Nitrilo donde un lector podría leer, por ejemplo, Cloro y Vanadio, en este caso al leer correctamente las valencias, aclararían el error puntual.

La escritura inadecuada realizada por Dani se evidencia también en su respuesta al problema 16, los símbolos elementales químicos para los Hidrógenos presentan anomalías en la representación, asemejándose a otro tipo de símbolo, uno de ellos el número cuatro (ver figura 6.18). Insistimos en que una escritura confusa de los símbolos constituyentes del lenguaje químico puede dar lugar a una lectura imprecisa. Igual que en los casos anteriores, esto puede ser fuente de una incomprensión en el momento de interpretar el enunciado o para el lector que analiza la solución de un problema. Cuando se indagan las causas de la forma en que escribe estos símbolos químicos, la estudiante justifica que: “es la forma en la que yo escribo, o eso me pasa por escribir rápido”.

Dani expresa la representación de símbolos químicos elementales de una forma pictórica algo irregular, si bien son comprensibles el mayor número de veces, la interpretación se puede deber a la experiencia personal que tenga el lector con el lenguaje químico, pero no se debe olvidar que a lo largo del proceso también se busca el Aprendizaje Significativo y, como ya se ha dicho, éste debe estar acompañado de un progreso conceptual personal a medida que transcurren los eventos de enseñanza y aprendizaje.

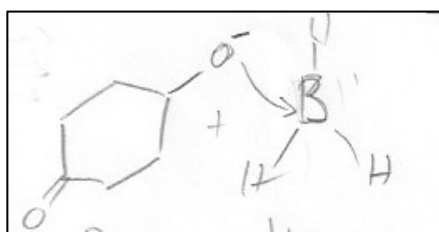


Figura 6.18. Sección de la resolución al problema número 16 realizada por Dani.

Continuando con la categoría uno, la escritura asignada a las fórmulas químicas de composición, son adecuadas en casi todos los casos, dado que los símbolos químicos elementales son piezas estructurales de las representaciones de las fórmulas químicas de composición y estructurales. La atención para el primero de estos casos fue puesta en los subíndices de composición que, a su vez, articulados con la valencia química dan el significado a cada fórmula química. En la siguiente figura se puede ver una sección de la respuesta de Dani al problema 11, donde las fórmulas del agua y Cianuro de Litio se escriben utilizando las relaciones de composición.

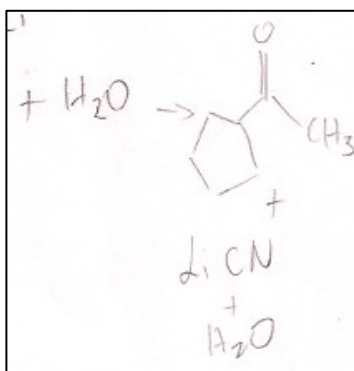


Figura 6.19. Sección de la resolución al problema número 11 realizada por Dani.

Por otra parte, cuando Dani escribe ecuaciones químicas, en la mayoría de las ocasiones olvida las fases de las sustancias, como puede observarse en la figura 6.20, que corresponde a una sección de su respuesta al problema 9. Las fórmulas que constituyen las ecuaciones químicas indican otro ejemplo de la estructura semántica y sintáctica del lenguaje químico implícitas en la representación. Al omitir las fases de las sustancias se pierde gran cantidad de información, dado que las sustancias poseen propiedades de presión y temperatura, según su contexto. Por tal razón, el Agua líquida $H_2O_{(l)}$ actúa como solvente, mientras que el Agua sólida $H_2O_{(s)}$ no puede hacerlo.

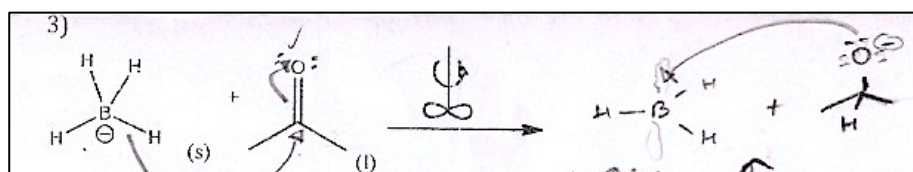


Figura 6.20. Sección de la resolución al problema número 9 realizada por Dani.

En general, Dani define correctamente los reactivos y los productos, y utiliza siempre la flecha que indica la transformación química. La escritura adecuada de ecuaciones químicas es base de las posteriores representaciones de los mecanismos de reacción, ya que estas son un constructo teórico utilizado para representar un proceso experimental de la transformación de sustancias. De aquí, la importancia para entender cómo estos conceptos son relacionados posteriormente por la estudiante.

A continuación, en el gráfico 6.3, se presenta un resumen de las apreciaciones relativas a la escritura asociada a los conceptos pertenecientes a la categoría uno ('Símbolos químicos elementales', 'Fórmulas químicas moleculares y unidades fórmula' y 'Ecuación química'):

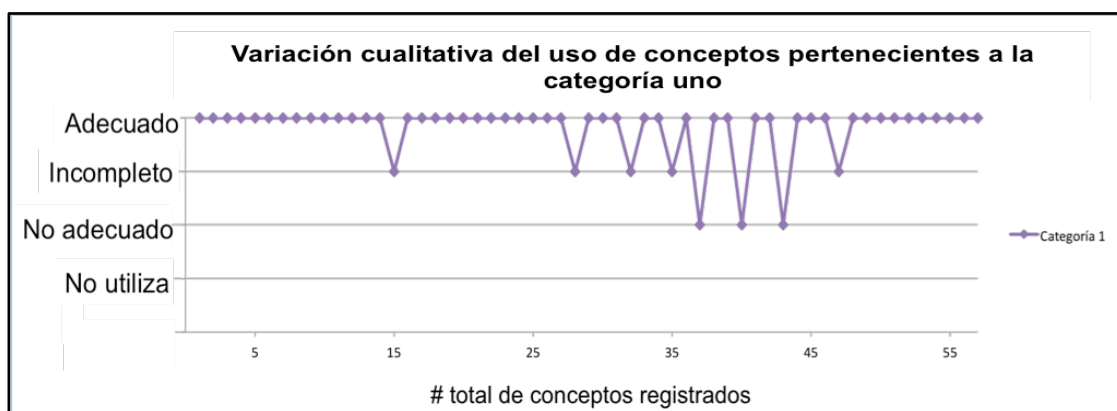


Gráfico 6.3. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría uno. Dani.

El gráfico 6.3 muestra, en la vertical, la valoración cualitativa (adecuada, incompleta, no adecuada o no lo ha utilizado) y en la horizontal, para 19 de 20 problemas resueltos por Dani, 57 registros de los tres conceptos considerados en la categoría uno (1. ‘Símbolos químicos elementales’ 2. ‘fórmula química de composición’ y 3. ‘Ecuación Química’).

Se puede observar en el gráfico 6.3 que Dani utilizó los *símbolos químicos elementales* en la resolución de todos los problemas, con una escritura adecuada en las respuestas a dieciséis de ellos, incompleta en el problema 10 y solo en las respuestas a tres problemas (concretamente el 13, 14 y 15) realizó una escritura inadecuada. Dani escribió de forma incompleta algunas *fórmulas químicas* en los problemas 11, 12 y 16. Y por último, solo fue incompleta su escritura sobre la *ecuación química* relacionada con el problema 5².

Categoría 2. Para los conceptos referidos en la categoría dos, la *valencia química* presenta cuatro eventos donde no es adecuado su significado. En tres episodios de la resolución de problemas prevalece la asignación de una valencia errada para la sustancia Bromo, exactamente en un compuesto organometálico, en donde en el reactivo se intercambia la posición del Haluro y el Metal Alcalinotérreo, evidenciando un error en la comprensión de la valencia clásica para estos elementos, pues en la estructura el Bromo aparece con valencia dos y el Magnesio con valencia uno (ver la figura 6.21 referente a una parte de la respuesta de Dani al problema 7).

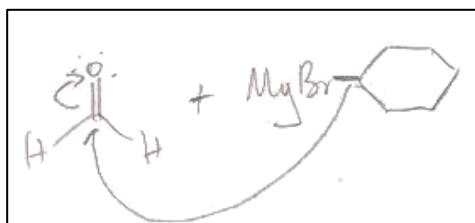


Figura 6.21. Sección de la resolución al problema número 7 realizada por Dani.

² Las respuestas completas de los cuatro estudiantes a los 20 problemas se pueden ver en el Anexo D.

La situación se repite en la resolución de los problemas 13 y 17, donde aparecen citados nuevamente reactivos de Grignard. En todos los demás casos el uso de la valencia química es adecuado, puesto que los conceptos referidos a la categoría dos son dependientes, el uso inadecuado dado al concepto de valencia en los tres eventos mencionados tiene repercusión en las *fórmulas químicas estructurales* y, simultáneamente, en las *ecuaciones químicas estructurales* referentes a los mismos tres problemas, como puede verse en la figura 6.22 correspondiente a secciones de las respuestas a los problemas 13 y 17, respectivamente:

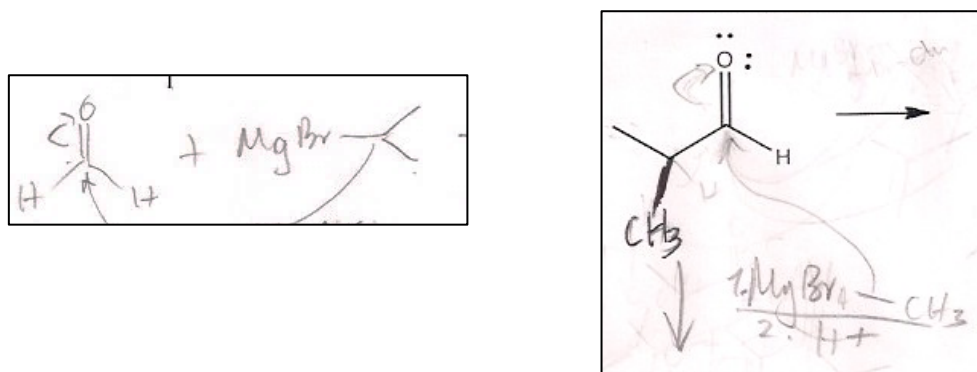


Figura 6.22. Secciones de las respuestas de Dani a los problemas 13 (izquierda) y 17 (derecha)

Se logró identificar en otras respuestas omisión de escritura de las fórmulas químicas estructurales, como es el caso de la resolución al problema número 4, donde no se escribe el intermedio de reacción, y opta por dibujar directamente el producto de la reacción como ilustra la figura siguiente:

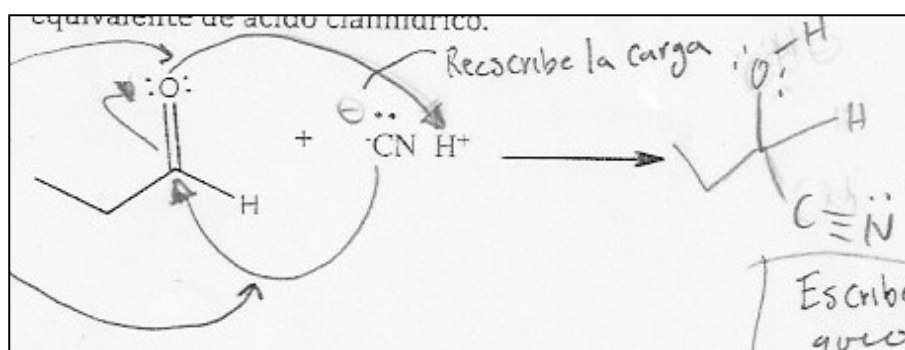


Figura 6.23. Sección de la resolución al problema número 4 realizada por Dani

El problema 4 se resuelve adecuadamente y se dibujan las etapas con movimientos de electrones; solo en una oportunidad no se muestra bien de dónde parten, en el producto se representa el cambio de hibridación y, adicionalmente, se muestra el par de electrones sobre el núcleo de nitrógeno que inicialmente no se incluye en el reactivo.

En el gráfico 6.4 se resumen las valoraciones inferidas por el investigador de las respuestas dadas por Dani a los 20 problemas, relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría dos ('Valencia química', 'Fórmula química estructural' y 'Ecuación química estructural').

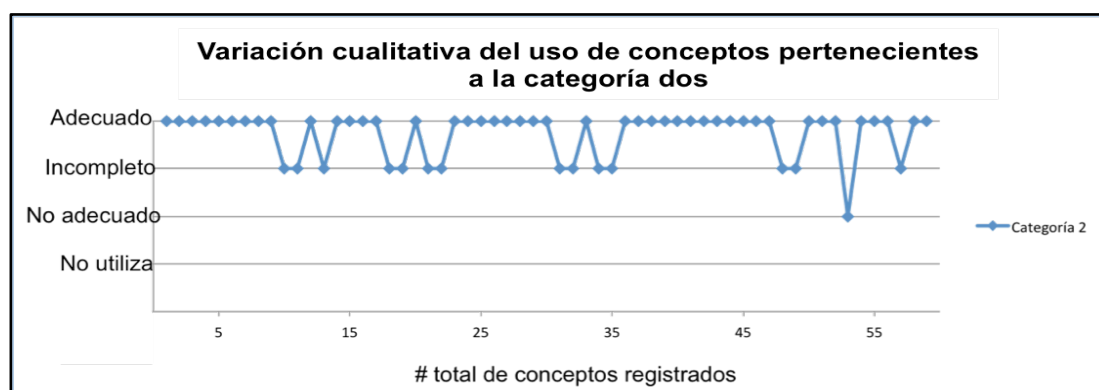


Gráfico 6.4. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría dos. Dani.

Hasta ahora se han visto algunos eventos donde no son utilizados adecuadamente varios conceptos referidos a las categorías uno y dos. Según se observa en los dos gráficos 6.3 y 6.4, son más frecuentes las veces donde son utilizados de forma óptima, debido a que estos dos grupos de conceptos son más concretos y menos abstractos, ya que están involucrados directamente con las primeras etapas de la notación química, es decir, en el planteamiento mismo de los enunciados del problema.

Categoría 3. Continuamos la discusión sobre los conceptos pertenecientes a la categoría tres; en la asignación de *pares de electrones libres* fue detectado un gran número de eventos, donde se hace un uso entre parcial e inexistente de este concepto. A pesar de que insistentemente en las clases y las secciones de asesoría se reitera la importancia de la representación en los mecanismos de reacción, no se observa que sea percibido por Dani, después del análisis que se ha realizado de sus respuestas. A

continuación, se muestran las respuestas de Dani a los problemas 11 (ver figura 6.24) y 14 (ver figura 6.25) y, posteriormente, algunos comentarios de la entrevista que se le realiza:

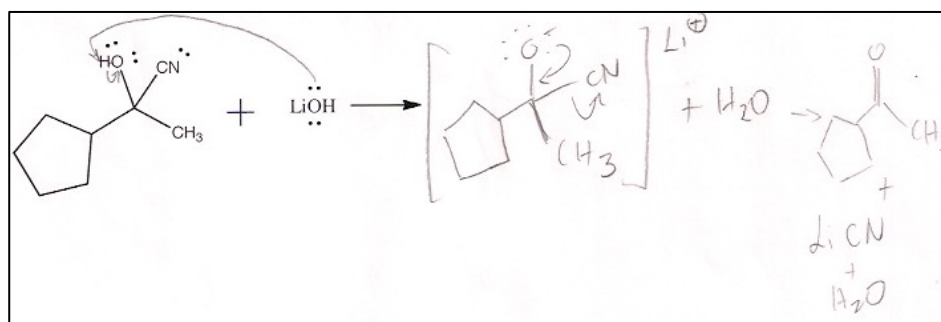


Figura 6.24. Resolución al problema número 11 realizada por Dani

En este caso dibuja adecuadamente el movimiento de electrones desde el nucleófilo al electrófilo. La representación del intermedio de la reacción presenta la región alrededor del anión de Oxígeno donde son evidentes los pares de electrones libres y otra región alrededor del grupo funcional Nitrilo donde se omiten. Por último, se dibujan los productos de reacción adecuados, pero de nuevo se omiten los pares de electrones libres cercanos a todos los grupos funcionales que deberían poseer el grupo carbonilo, las moléculas de agua y el Cianuro de Litio.

Aportaciones de su entrevista después de la resolución del problema 11:

Profesor: ¿cómo te has sentido solucionando el problema?

Dani: ¡Bien!

Profesor: solo veo que hay algo faltante.

Dani: ¿de verdad?

Profesor: ¡así es!

Dani: pero yo encontré todos los productos...ummm

Profesor: es cierto, pero olvidaste de nuevo los pares de electrones libres.

Dani: Pero, ¡si yo los dibujé en el intermedio!

Profesor: Faltan en el producto final, bueno en los tres productos.

Dani: ¡a la próxima los dibujo!

Profesor: se trata de entender el por qué se deben dibujar.

Dani: está bien, yo lo hago.

De la entrevista se puede entender que el uso de los pares de electrones libres es una cuestión de cumplimiento por la orientación propuesta por el profesor, la representación aparece y desaparece en la resolución de un mismo problema, incluso en un mismo compuesto. Es evidente la falta de atención en el uso y en su significado,

como se puede ver de nuevo en la resolución del problema 14, mostrado en la figura 6.25.

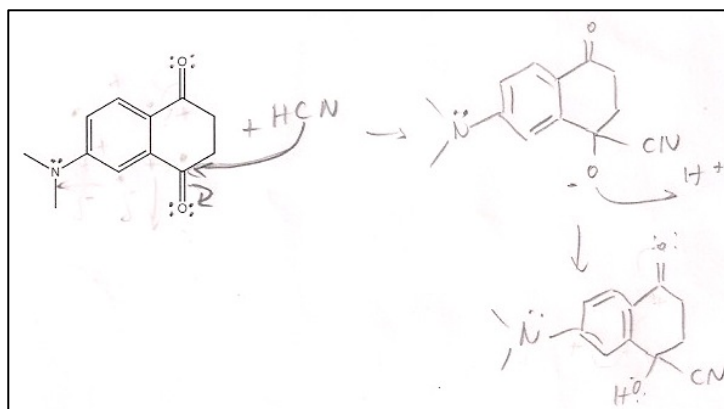


Figura 6.25. Resolución al problema número 14 realizada por Dani

En la estructura del reactivo se dibuja el par de electrones libres que, inicialmente, no aparecía representado sobre el grupo Amino. Después de dibujar los primeros desplazamientos de electrones en el mecanismo, uno de ellos es inadecuado, correspondiente al ataque que propicia el grupo Nitrilo al Carbono Carbonilo. Las flechas curvas describen el movimiento de electrones en los mecanismos de reacción, y cuando estos se omiten se pierde el sentido en el uso del concepto. Al llegar al primer intermediario, solo en el grupo funcional amino se representan los pares de electrones libres. Por último, dibuja adecuadamente el producto final de la reacción incluyendo los pares de electrones libres de los grupos Amino, Hidroxilo y Carbonilo, y olvida de nuevo los del grupo Nitrilo. Tampoco hay claridad en cómo realiza la selección de qué grupo carbonilo debería reaccionar preferencialmente en el mecanismo de reacción.

Aportaciones de la entrevista posterior a la respuesta del problema 14:

Profesor: tengo dos preguntas acerca de la solución que has dado al problema

Dani: ¡claro profe!, ¿cuáles son?

Profesor: de nuevo he visto que utilizas unas veces los pares de electrones y otras no.

Dani: ¿dónde?, permiso, yo miro.

Profesor: en el intermedio y en el producto, ¿lo ves?

Dani: a, perdón, se me olvida a veces, pero yo sé dónde van, además usted no los dibujó tampoco en el problema.

Profesor: es cierto, lo hice a propósito. Me interesa ver si ustedes los escriben y en este caso son cruciales para la respuesta.

Dani: ¡usted, tan malo!

Profesor: jajajá, ¿por qué escogiste el Carbonilo de abajo?

Dani: ¿no son iguales?, yo pensaba que sí.

Aunque la presencia de pares de electrones no necesariamente implica la presencia de *cargas eléctricas*, en el caso particular del problema 1 (figura 6.26) se evidencia la importancia de su representación. Veamos:

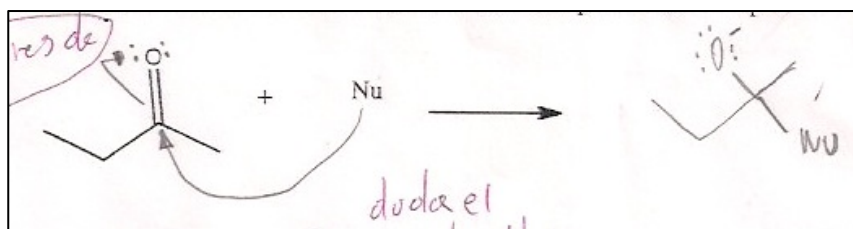


Figura 6.26. Sección de la respuesta de Dani al problema 1

El enunciado del problema presenta la fórmula para un nucleófilo genérico donde no aparece ni la carga ni los pares de electrones libres, sin embargo, intuitivamente Dani dibuja una ruta de ataque hasta el Carbono Carbonílico.

En la resolución del problema 10 (ver figura 6.27) se repite la misma situación. Al no representar Dani los pares de electrones libres tiene dificultades para la asignación de las cargas, en el mecanismo de la reacción se puede ver al grupo Nitrilo libre con una carga eléctrica negativa cerca del nitrógeno y no del carbono como debe ser, esto conduce a definir un movimiento de electrones no coherente con el subproducto formado por Cianuro de Hidrogeno HCN.

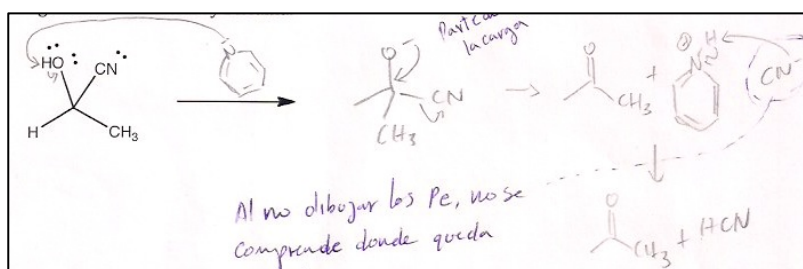


Figura 6.27. Sección de la respuesta de Dani al problema 10

En la representación de la estructura del segundo reactivo situado sobre la flecha (Piridina), se incluye los pares de electrones libres. Estos son fundamentales pues son

los que dan comienzo al mecanismo de reacción; al dibujar el primer intermediario de reacción se omiten los pares de electrones libres sobre el Oxígeno y Nitrógeno. A lo largo de la respuesta, en ningún momento se vuelven a representar y, al no dibujar los pares de electrones, no se comprende dónde quedan localizadas las cargas, así, en el mecanismo se dibujan las flechas y parte de las cargas. Al final, se llega a los productos deseados a través de un mecanismo incompleto.

En general, las cargas son bien asignadas, a pesar de no incluir los pares de electrones libres, parece que esto se hace de forma intuitiva y deja ver el uso poco significativo de la relación existente entre este par de conceptos.

Cuando se analizan los conceptos de *aniones y cationes* formados y la *polaridad* de las moléculas se encuentra que ambos son empleados correctamente a lo largo de las situaciones de resolución de problemas propuestos. Dani identifica si hay pérdida o ganancia de electrones (sin necesariamente representarlos) y asigna las cargas respectivas. Cuando se debe representar la resonancia electrónica en los grupos funcionales siempre realiza los desplazamientos hacia las especies químicas receptoras de electrones.

En el gráfico siguiente están resumidas las valoraciones cualitativas relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría tres, realizadas del análisis de las repuestas de Dani a los 20 problemas.

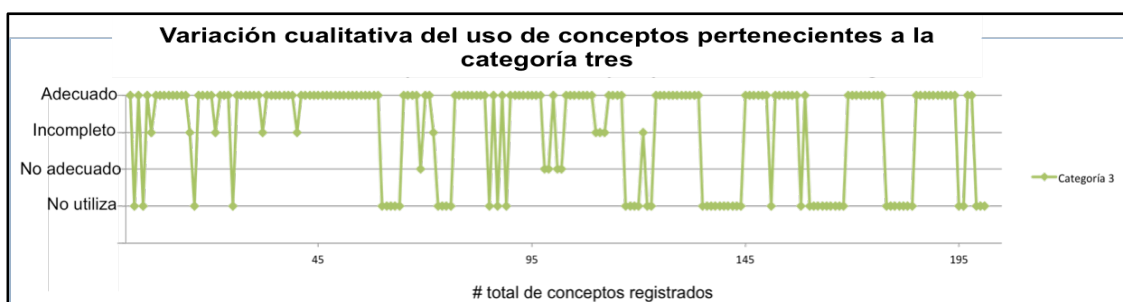


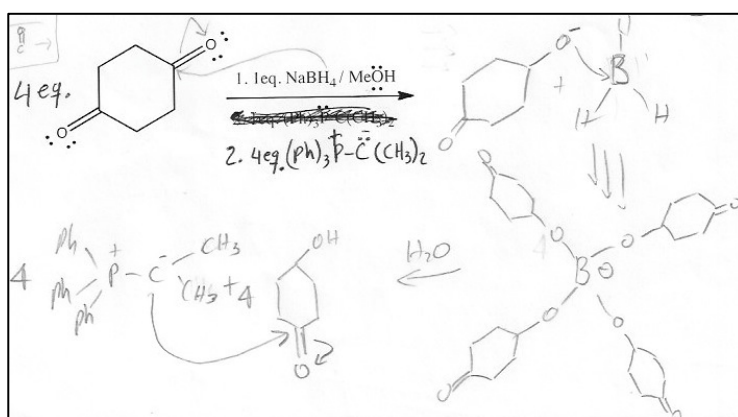
Gráfico 6.5. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría tres. Dani.

Este gráfico muestra que la implementación de los conceptos en la resolución de problemas relativos a la categoría 3 presenta muchos altibajos, donde lo más notorio es el gran número de conceptos en la línea de no utilizado, seguramente debido a que estos conceptos son más complejos y, en gran parte, muy integrados al planteamiento de la

resolución de los problemas. El trabajo (alrededor de 200 registros) de describir el modo en que los estudiantes de la muestra utilizan los cuatro conceptos de la categoría en el contexto de resolución del conjunto de problemas indica que, esta categoría es predominante y, como ya se ha dicho, se transforma en la estructura base para la comprensión de los mecanismos de reacción.

Categoría cuatro. El uso de la *notación de Robinson* ha indicado dos modos diferentes de comportamientos, ninguno de los cuáles se ajusta a una utilización correcta de la misma. En primera instancia, son muchas las situaciones donde las flechas parten de regiones no adecuadas, por ejemplo, unas veces a partir de las cargas (como ya se ha ilustrado) y otras de los mismos núcleos constituyentes de las moléculas. Como en el problema 16, cuando el reactivo de Wittig ataca en la tercera etapa del mecanismo de reacción, el movimiento de electrones parte del núcleo de carbono hacia el carbono carbonilo (ver la figura 6.28).

Dani comienza con el ataque del agente reductor (NaBH_4) a partir de su fórmula de composición, indicando que reconoce la funcionalidad del reactivo, pero no aporta el movimiento preciso que realizan los electrones en el mecanismo. Identifica adecuadamente el nucleófilo y electrófilo y en el primer intermediario dibuja las estructuras. Tras la adición de agua en la etapa posterior y sin el uso de flechas curvas decide escribir la estructura del intermediario (al parecer de forma intuitiva). Después, retoma el uso de flechas curvas indicando cuatro réplicas del ataque nucleofílico y finalmente, tras el reordenamiento de electrones y enlaces químicos, dibuja el producto principal de la reacción, omitiendo de nuevo los pares de electrones libres.



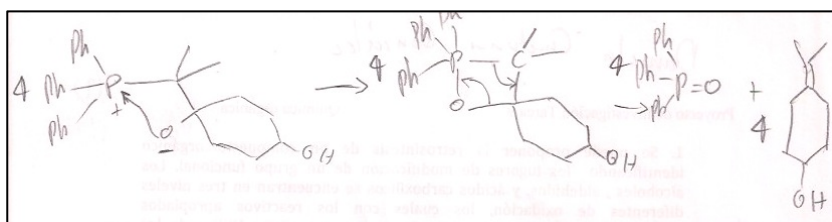


Figura 6.28. Respuesta de Dani al problema 16

La figura 6.29, relativa a la respuesta dada por Dani al problema 10, muestra que no dibuja las flechas curvas. De forma intuitiva realiza la transformación química indicando directamente el producto, pero no las etapas del proceso. El investigador reconoce que cuando se posee alta experiencia en la comprensión de los mecanismos de reacción, existe la tendencia general de omitir el dibujo de etapas, sin embargo, se indicó a los estudiantes que dibujaran completamente los mecanismos. Se muestra en el mecanismo de reacción la transformación del alcóxido en alcohol sin el uso de flechas curvas indicando el ataque del nucleófilo al medio ácido.

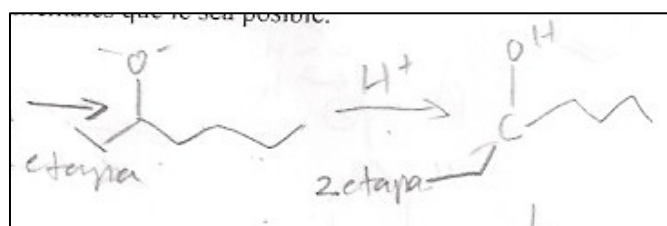


Figura 6.29. Sección de la respuesta de Dani al problema 10

En general, los *mecanismos de reacción* han sido bien representados, estos incluyen múltiples etapas, las cuales dependen de la forma como es representado el movimiento de electrones, el rompimiento, formación de enlaces y la resonancia, entre otros. Definir la adecuada escritura de un mecanismo de reacción incluye la unificación de muchos criterios.

A continuación, se presenta el gráfico 6.6 donde están resumidas las apreciaciones dadas por el investigador al modo como utiliza Dani los conceptos de la categoría 4 en sus respuestas a los 20 problemas.

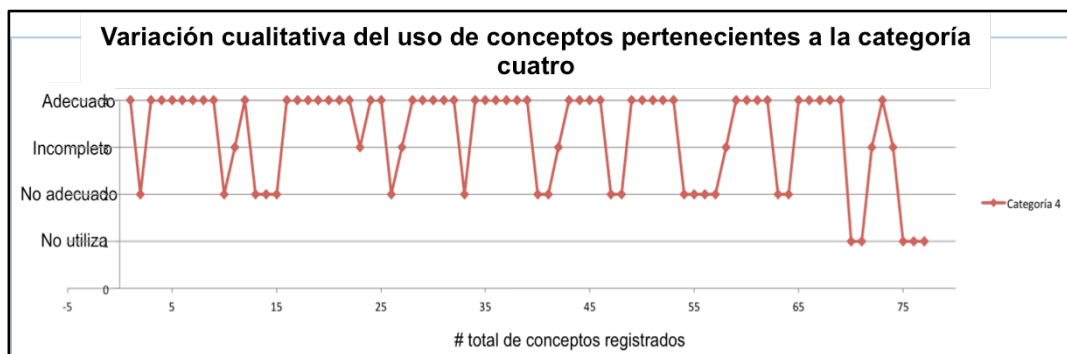


Gráfico 6.6. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría cuatro. Dani.

Es notorio el uso entre adecuado e inadecuado dado por Dani a los dos conceptos de la categoría cuatro: *Notación de Robinson* y *Mecanismo de reacción*, predominando el adecuado. También se hace visible a medida que los problemas crecen en dificultad que los dos conceptos no son utilizados o se hace de forma incorrecta, lo que fue argumentado por esta estudiante como “desconcentración mental”. Esta situación es similar a los resultados mostrados en el gráfico 6.5 para los problemas más avanzados, lo que permite pensar en la incidencia del grado de dificultad en la resolución de problemas.

Categoría Cinco. Para los conceptos referidos a la categoría 5 solo fue posible inferir los significados para la geometría molecular, dado que este significado va ligado a varios de los conceptos de la categoría 1 y 2 que ya han sido descritas, hemos encontrado que las representaciones son bien utilizadas y solo 7 veces se usan inadecuadamente, normalmente, en la representación de estructuras tetraédricas mostradas como cuadrados planares, por ejemplo, para el tetraborohidruro de sodio, como se muestra en la figura 6.30.

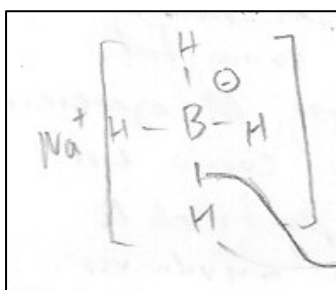


Figura 6.30. Sección de la respuesta de Dani al problema 7

En la resolución de todos los problemas solo dos veces aparecen representados orbitales (problemas 7 y 8), indicando la presencia de un orbital p sin hibridar sobre la estructura de un Borano; en ninguno de los casos se utilizaron los conceptos de conformaciones o estereoquímica de forma explícita, a pesar de que en los problemas 19 y 20 fueron solicitados para lograr sus soluciones, probablemente, por ser de mayor grado de dificultad propuestos en la serie.

A continuación, en el gráfico 6.7 se presentan las valoraciones cualitativas del uso de los conceptos para la categoría 5. Se puede observar que la mayoría de las asignaciones adecuadas para los conceptos se refieren a la estructura molecular, bien sea de reactivos, productos o intermedios en los mecanismos de reacción.

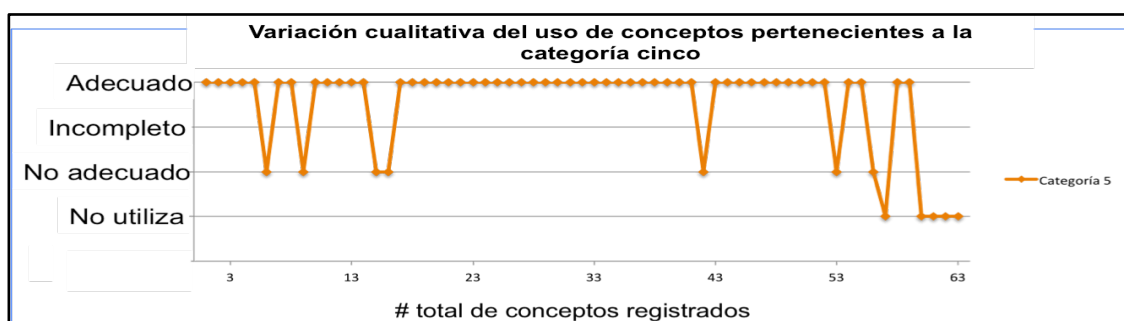


Gráfico 6.7. Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría cinco. Dani.

En el Anexo D se presentan las respuestas completas dadas por los cuatro estudiantes que participaron en el estudio de Casos a todos los problemas, acompañados de una tabla que resume los usos atribuidos al lenguaje químico en sus resoluciones.

Para finalizar este apartado, en el gráfico 6.8, presentamos los resultados finales que ha obtenido Dani, sobre las respuestas dadas a los 20 problemas propuestos.

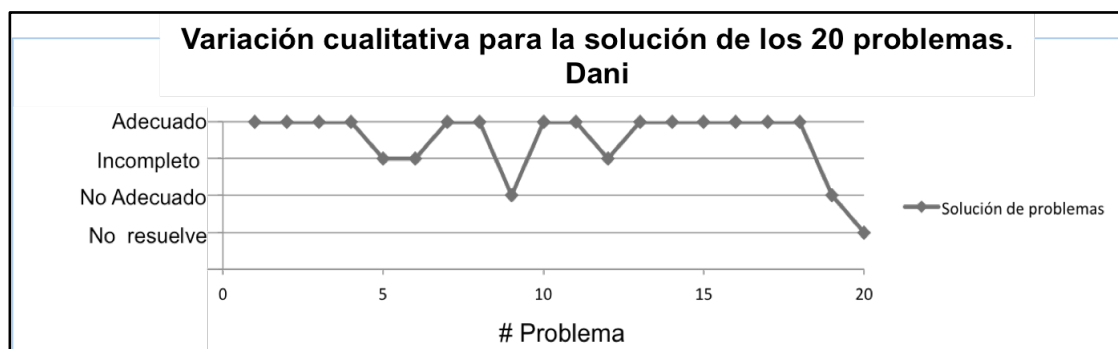


Gráfico 6.8 Variación cualitativa de la resolución de los 20 problemas Dani.

Dani da soluciones adecuadas a 14 de los 20 problemas, tres de ellos de forma incompleta, dos de forma incorrecta y no contesta el problema 20.

En relación con los resultados mostrados en los gráficos 6.3 a 6.7 indican que en la categoría uno de conceptos no hay un avance a lo largo del periodo comprendido entre los problemas 10 y 16, produciéndose un “estancamiento” donde los errores son frecuentes, después se mejora hasta retornar a la normalidad de una adecuada notación. La categoría dos muestra un aspecto similar, pero aún más marcada la intermitencia en la calificación, terminando en los últimos problemas con un aumento de los casos donde hay una inadecuada asignación para la notación química.

En la categoría tres y cuatro igualmente predomina un proceso de asignación intermitente que se conserva hasta el final de la intervención. Este análisis permite concluir que la notación química en el caso de Dani es un proceso invariante lleno de constantes cambios entre adecuadas e inadecuadas asignaciones para los conceptos en las cuatro categorías estudiadas.

Una vez descrito y analizado el desempeño de Dani durante el desarrollo de las actividades llevadas a cabo durante el proceso de enseñanza, mediante la rúbrica 6.15, se calificó el dominio del uso en el lenguaje químico alcanzado, evidenciado a través de las respuestas a los problemas y las entrevistas que se le realizaron.

Tabla 6.15 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Dani

Categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico			
Excelente 4 puntos		Bueno 3 puntos	
Regular 2 puntos		Deficiente 1 punto	
Categorías	Descripción		Puntuación
Uso básico de símbolos	<i>Capacidad de apropiación oral básica de los símbolos.</i> - Dispone de un vocabulario de palabras y es capaz de mencionarlas en conversaciones y expresarlas en oraciones.		3
	- Es capaz de referenciar términos químicos en las entrevistas.		3
Interpretar	<i>Capacidad de leer e interpretar los símbolos.</i> - Es capaz de identificar representaciones moleculares incompletas o erróneas.		3
	- Es capaz de conectar palabras en frases con contenido de lenguaje natural y lenguaje químico.		3
	- Es capaz de inferir información gráfica proveniente de representaciones estructurales.		2

**Caso
Cata**

Los
conceptos
pertenece
ntes a la
**primera
categoría**
, en
general,
son muy
bien
utilizados

Representar	<i>Capacidad de representar los símbolos.</i>	2
	- Es capaz de dibujar adecuadamente estructuras químicas.	3
	- Es capaz de utilizar diferentes tipos de representaciones moleculares.	3
Comunicar	- Es capaz de articular frases y declaraciones que contengan elementos del lenguaje químico.	3
	<i>Capacidad de compartir y socializar información.</i>	1
	- Es capaz de persuadir opiniones del profesor y compañeros durante el diálogo.	3
	- Es capaz de describir procedimientos en la resolución de problemas.	2
	- Es capaz de dar explicaciones y razonamientos durante la puesta en común de la resolución de problemas.	2
	TOTAL	28 puntos
Nivel 1: 1 a 11 puntos; Nivel 2: 12 a 22 puntos Nivel 3: 23 a 33 puntos; Nivel 4: 34 a 44 puntos		NIVEL ALCANZADO
		TRES

por Cata. Aplica las reglas para la escritura de los símbolos químicos, utilizando correctamente las letras mayúsculas acompañadas de letras minúsculas, según el caso, coherentemente con la notación química. Un ejemplo de su escritura de los símbolos químicos es la respuesta que da al problema 10 (ver figura 6.31)..

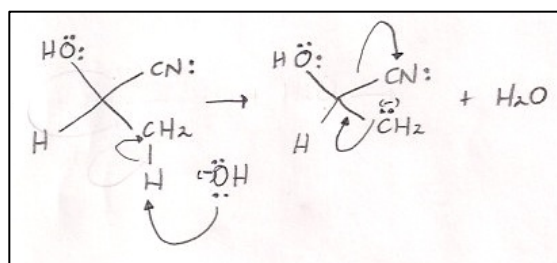


Figura 6.31. Sección de la respuesta de Cata al problema 10

Respecto a las fórmulas químicas de composición, igualmente son bien representadas por Cata. Las escribe en el orden adecuado según la electronegatividad de las sustancias que las conforman. Durante todo el proceso, la representación de las ecuaciones químicas fue correcta, pese a que en un caso no fue posible identificar uno de los productos secundarios ya que no fue dibujado.

En el gráfico 6.9 se resumen las apreciaciones relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría uno, obtenidas de las respuestas dadas por Cata a los 20 problemas.

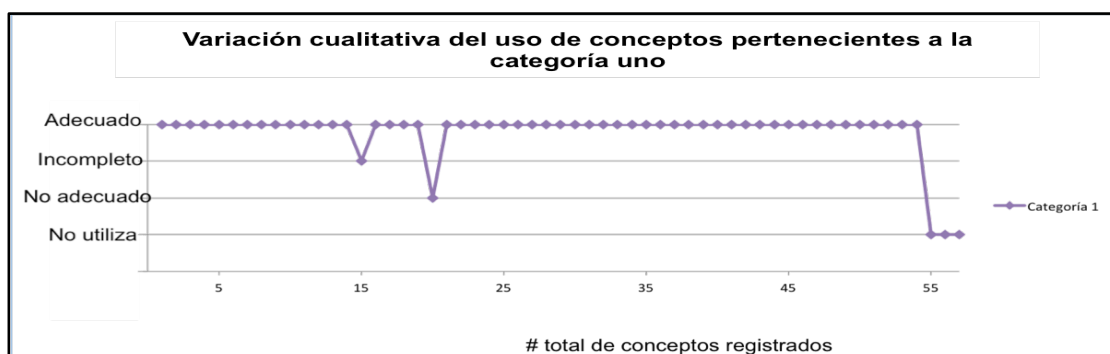


Gráfico 6.9. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría uno Cata.

El gráfico es muy claro al mostrar la variación de los conceptos. Se puede decir que más del 90% de los usos de los conceptos son adecuados. Al final aparece registrado lo que corresponde al último problema tratado, ya que Cata lo dejó en blanco.

En la **categoría dos**, relativo al concepto de *valencia química* se han registrado algunos eventos donde su uso no se corresponde con el poder de combinación químico de la especie principal, realmente corresponde con una valencia expandida para el boro y aluminio en compuestos denominados agentes reductores. En las respuestas a los problemas 7, 8 (ver figura 6.32) y 9 para el caso del boro son dibujados de modo inapropiado cinco sustituyentes.

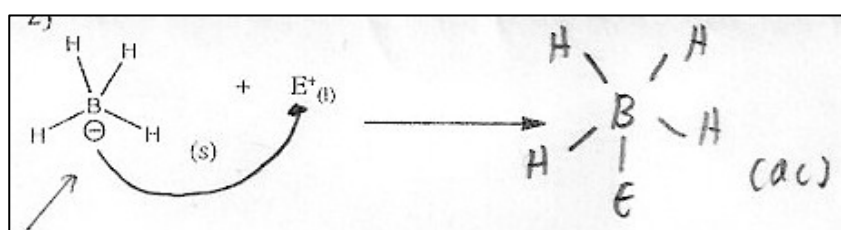


Figura 6.32. Sección de la respuesta de Cata al problema 8

En todos los demás compuestos dibujados en las respuestas dadas al resto de los problemas no se encontró ninguna otra anomalía. Recordando la relación existente entre conceptos de la misma categoría, las fórmulas químicas estructurales fueron afectadas para las mismas situaciones anteriores. También se encontraron casos donde la

representación espacial no era adecuada, como en los problemas 3, 4 (ver figura 6.33) y 11, donde la simetría sobre centros tetraédricos se desvía y se infiere más bien una estructura plana.

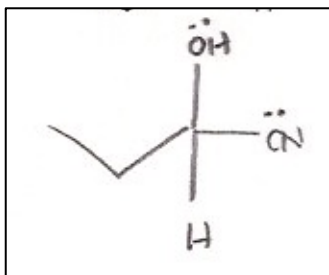


Figura 6.33. Sección de la respuesta de Cata al problema 4

A continuación, se presenta el gráfico 6.10 donde se resumen las apreciaciones relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría dos obtenidas de las respuestas dadas por Cata a los 20 problemas.

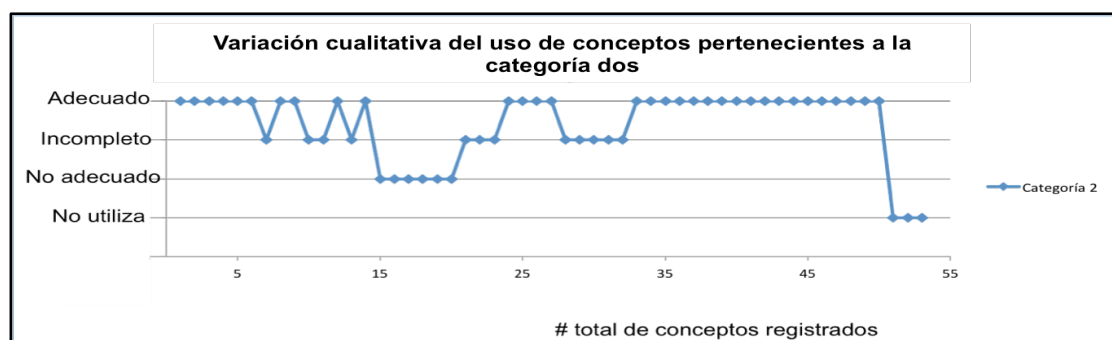


Gráfico 6.10. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría dos Cata.

El gráfico presenta una sección inicial donde los conceptos descienden según la calidad en su uso, para luego comenzar a subir de nuevo y estabilizarse en la solución de los últimos problemas, lo que indica una apropiación de los conceptos de la categoría 2. Al final reaparece el problema número 20 que Cata no resuelve.

Relacionado con la **categoría tres**, el uso de *pares de electrones libres* pasa por etapas donde inicialmente es utilizado el concepto y otra donde su uso es intermitente. La asimilación de este concepto no es observada en la estudiante, parece más bien una cuestión de uso sin conciencia; esta intermitencia parece proveniente de la participación en la clase y de la insistencia del uso apropiado recomendado por el profesor.

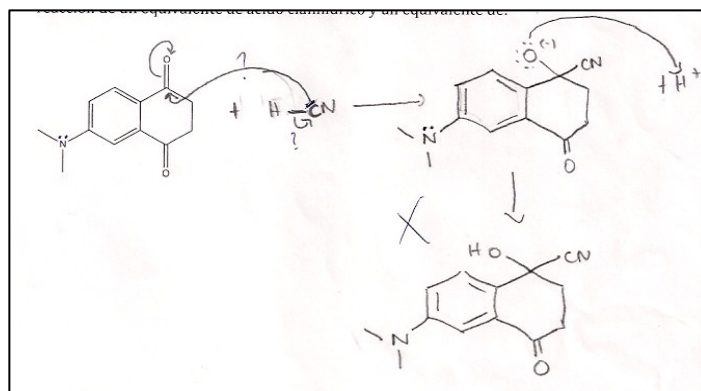


Figura 6.34. Sección de la respuesta de Cata al problema 14

En la respuesta al problema 14 (ver figura 6.34) se aprecia el uso parcial de la asignación de los pares de electrones. En la estructura inicial se ve el par de electrones sobre el Nitrógeno y lo que parece ser, aunque confuso, un par de electrones en el Cianuro de hidrógeno, sin embargo, luego aparecen pares libres sobre el Oxígeno y desaparecen todos en el resultado propuesto de la reacción.

Contribuciones de la entrevista posterior a la resolución del problema 14:

Profesor: solo veo que dibujaste una vez los pares de electrones.

Cata: profe, es por escribir rápido, pero usted sabe que lo sé.

Profesor: es posible, pero parece que no eres consciente de la importancia que tiene el representarlos, por ejemplo, sin ellos en este problema no se puede dar una respuesta lógica.

Cata: sí, pero vea que llegué a la respuesta.

Profesor: no solo me interesan las respuestas, el dominio de los conceptos y el uso que ustedes dan me indican cómo ha sido el aprendizaje.

Cata: sí señor.

Las cargas eléctricas también han presentado inconvenientes en la representación, por ejemplo, en la respuesta al problema 11 (ver figura 6.35) se reescribe un par de electrones lo que tal vez genera la aparición de un anión y una carga inexistente en el reactivo. Se debe resaltar la coherencia en la relación que existe entre electrones adicionales y cargas eléctricas negativas, sin embargo, la asignación de un par de electrones adicional debe aportar la formación de un anión divalente.

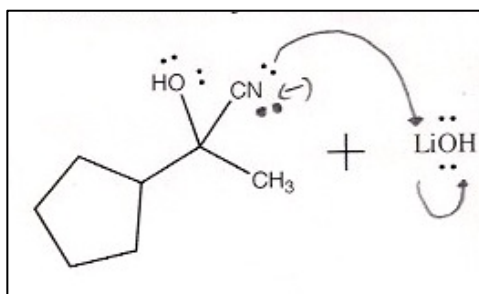


Figura 6.35. Sección de la respuesta de Cata al problema 11

En la respuesta dada al problema 4, mostrado en la figura 6.36, se encuentra una situación contraria; esta vez se han omitido un par de electrones en el intermedio sobre el núcleo de nitrógeno y, misteriosamente, después de la formación del enlace aparecen en el producto de reacción situados sobre el núcleo de carbono. Situar adecuadamente los pares de electrones es una cuestión de sutileza en la comprensión y en las estructuras pequeñas, es un buen indicativo de su adecuada asignación.

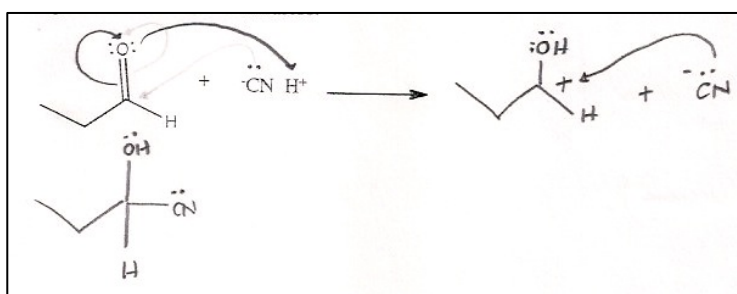


Figura 6.36. Sección de la respuesta de Cata al problema 4

La asignación de aniones y cationes no genera dificultad, pues se asignan adecuadamente, una vez se crean o se consumen como reactivos o intermedios en los mecanismos de reacción. La polaridad en los enlaces ha sido correctamente utilizada en los procesos reactivos, se han roto enlaces dobles generando las dos especies cargadas donde la más electronegativa se comporta como anión.

A continuación, se presenta el gráfico 6.11 que resume las apreciaciones relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría tres, una vez analizadas las respuestas de Cata a los 20 problemas:

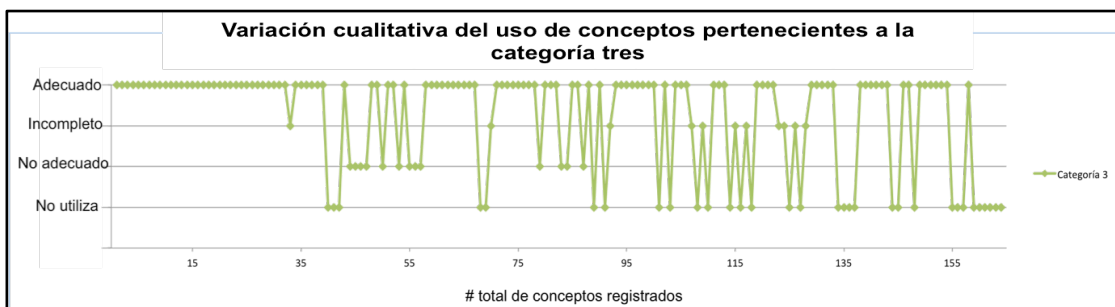


Gráfico 6.11. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría tres. Cata.

Del gráfico 6.11 se puede percibir de nuevo, que en las respuestas a los primeros problemas todos los conceptos se utilizan adecuadamente, pero a medida que la dificultad en los problemas aumenta aparecen dificultades en su uso y comprensión; la mayor parte de anomalías es atribuida al uso inadecuado sobre la asignación de los pares de electrones libres.

La **categoría cuatro** presenta un comportamiento mucho más variable sobre el uso de conceptos. La notación de flechas curvas posee muchas variaciones en su aplicación: primero son registrados tiempos donde las flechas tienen su origen en regiones inapropiadas de las moléculas, como es el caso de la solución del problema número 2 (ver figura 6.37). En la última etapa del mecanismo de reacción, se nota que la parte baja del nucleófilo es el lugar donde se origina el ataque a pesar de estar adecuadamente representado el par de electrones libre.

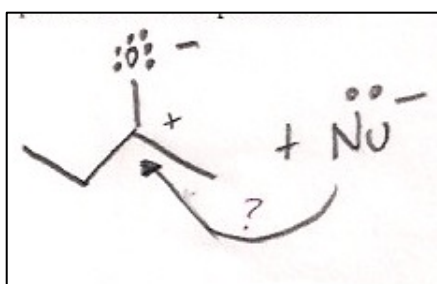


Figura 6.37. Sección de la respuesta de Cata al problema 2

Otro de los casos observados es cuando el ataque se genera de la carga del nucleófilo, como se puede ver en la sección a la respuesta del problema 9 (figura 6.38). Particularmente, en este caso, aunque el boro posee la carga no tiene electrones no

enlazantes en su periferia, son los electrones de los enlaces tipo hidruro quienes actúan en el desplazamiento hacia el electrófilo.

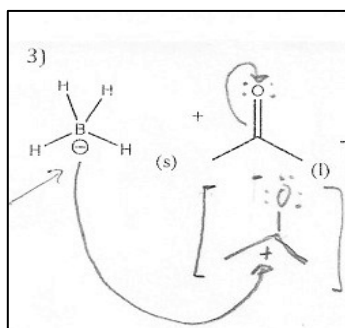


Figura 6.38. Sección de la respuesta de Cata al problema 9

Resulta importante señalar que en la resolución del problema 13 (figura 6.39) no está bien representado el ataque en el mecanismo, que corresponde a una situación análoga a la presentada en el problema anterior. Desafortunadamente, persiste la anomalía relativa a la valencia inadecuada para el aluminio.

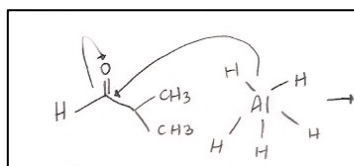


Figura 6.39. Sección de la respuesta de Cata al problema 13

El concepto con mayor número de anomalías en el análisis que se ha realizado es el relativo a los *mecanismos de reacción*, puesto que solo cuatro de los veinte problemas tienen una respuesta correcta. Se debe reconocer el esfuerzo por escribirlos, ya sean incompletos o inadecuados, puesto que al ser el concepto más inclusivo e interdependiente de todos los anteriores está más expuesto a mostrar las carencias.

En el gráfico 6.12 se presenta de forma resumida las apreciaciones a los conceptos pertenecientes a la categoría cuatro, una vez analizadas las respuestas a los 20 problemas.

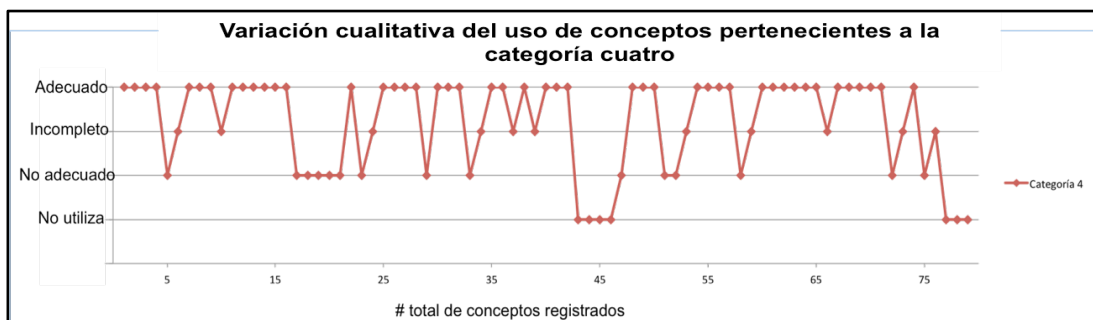


Gráfico 6.12. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría cuatro Cata.

Analizando el gráfico 6.12 se puede advertir la irregularidad del uso de los conceptos alusivos a la categoría 4, si bien es cierto que escribir los mecanismos de reacción condensa significados atribuibles a las anteriores categorías, hay demasiadas ocasiones en que no son utilizados de forma adecuada, lo que indica que Cata está lejos de su dominio y comprensión.

Para la categoría 5 recordamos que solo pudo ser ampliamente representado el concepto de estructura molecular, el cual es el más abundante en la variación descriptiva del gráfico 6.13. Este concepto es fundamental en la resolución de los problemas, en su mayoría elaboró una buena representación, no obstante, en varias oportunidades fue inadecuado su uso, cometiendo el error tradicional de representar estructuras tetraédricas de forma cuadrado planar. Los tres conceptos restantes en la categoría 5, no presentaron un número significativo de eventos de utilización lo que no permite describir de forma coherente su dominio ni evolución, probablemente, en los problemas más difíciles Cata no presentó soluciones y en algunos casos los dejó sin resolver.

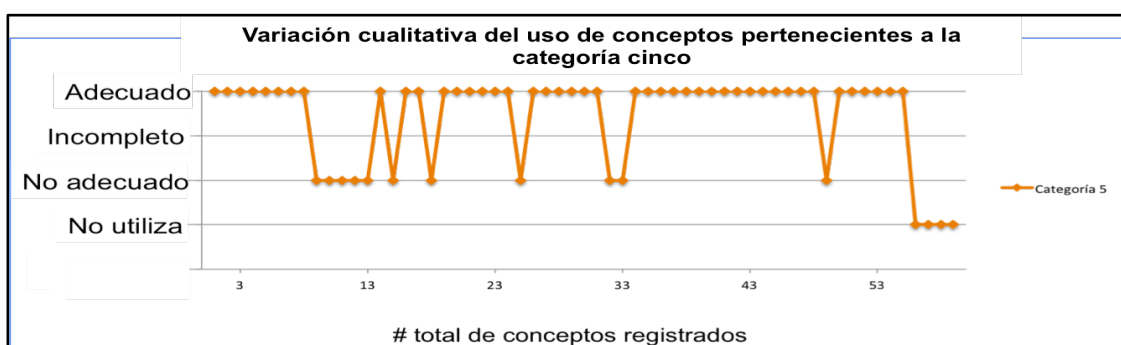


Gráfico 6.13. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría cinco. Cata.

Para finalizar el apartado, en el gráfico 6.14, se presentan los resultados finales que ha obtenido Cata, sobre las respuestas dadas a los 20 problemas propuestos.

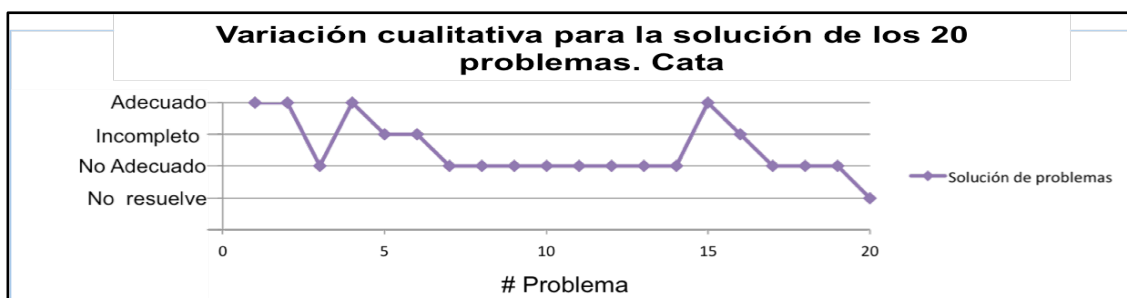


Gráfico 6.14. Variación cualitativa de la resolución de 20 problemas Cata.

Cata solo da soluciones ‘adecuadas’ a cuatro de los 20 problemas, ‘no adecuadas’ a 12 e ‘incompletas’ a 3. El problema número 20 no lo resuelve. Esto significa que Cata no tiene apropiados los conceptos, no los aplica adecuadamente en la resolución de los problemas propuestos. Sin embargo, sí hay que reconocerle su esfuerzo personal por el trabajo, ya que es notable su intento por plantear y resolver todos los problemas, aunque sin éxito.

También se puede decir que Cata experimenta un avance en la notación de conceptos pertenecientes a la categoría dos; para la categoría uno es prácticamente invariante y durante todo el proceso lo realiza adecuadamente. En la categoría tres se observa un detrimento general a medida que aumenta el grado de dificultad de los conceptos; para la categoría cuatro se presenta durante todo el proceso una notación variante que permanece constante hasta el final de la intervención.

Tabla 6.16 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Cata

Categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico			
Excelente 4puntos	Bueno 3 puntos	Regular 2 puntos	Deficiente 1 punto
Categorías	Descripción		Puntuación
Uso básico de símbolos	<i>Capacidad de apropiación oral básica de los símbolos.</i>		2
	- Dispone de un vocabulario de palabras y es capaz de mencionarlas en conversaciones y expresarlas en oraciones.		
	- Es capaz de referenciar términos químicos en las entrevistas.		2

Interpretar	<i>Capacidad de leer e interpretar los símbolos.</i> - Es capaz de identificar representaciones moleculares incompletas o erróneas.	2
	- Es capaz de conectar palabras en frases con contenido de lenguaje natural y lenguaje químico.	2
	- Es capaz de inferir información gráfica proveniente de representaciones estructurales.	2
Representar	<i>Capacidad de representar los símbolos.</i> - Es capaz de dibujar adecuadamente estructuras químicas.	2
	- Es capaz de utilizar diferentes tipos de representaciones moleculares.	2
	- Es capaz de articular frases y declaraciones que contengan elementos del lenguaje químico.	2
Comunicar	<i>Capacidad de compartir y socializar información.</i> - Es capaz de persuadir opiniones del profesor y compañeros durante el diálogo.	1
	- Es capaz de describir procedimientos en la resolución de problemas.	2
	- Es capaz de dar explicaciones y razonamientos durante la puesta en común de la resolución de problemas.	1
	TOTAL	20 puntos
Nivel 1: 1 a 11 puntos; Nivel 2: 12 a 22 puntos Nivel 3: 23 a 33 puntos; Nivel 4: 34 a 44 puntos		NIVEL ALCANZADO
		DOS

Una vez descrito y analizado el desempeño de Cata durante el desarrollo de las actividades llevadas a cabo durante el proceso de enseñanza, se le calificó el dominio del uso en el lenguaje químico alcanzado (tabla 6.16), evidenciado a través de las respuestas a los problemas y las entrevistas que se le realizaron

Caso Lina

Los conceptos pertenecientes a la **categoría uno**, presentan las siguientes observaciones: el uso asignado a los *símbolos químicos* ha sido adecuado en todas las actividades y son utilizadas las letras mayúsculas y minúsculas en su orden de asignación, tanto en fórmulas de composición como estructurales. Las *ecuaciones químicas* también han sido bien empleadas. Las *fórmulas químicas* de composición fue el único concepto perteneciente a esta categoría que tuvo dos inconsistencias en su uso, una de ellas se presentó en la estructura que supera su valencia en la respuesta al

problema 8 (ver la figura 6.40), donde se observa la formación de cinco enlaces alrededor del Boro.

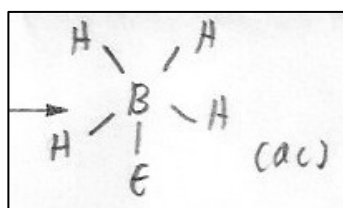


Figura 6.40. Sección de la respuesta de Lina al problema 8

La escritura de las notaciones químicas, como ya se ha mencionado, es pilar de la comunicación escrita. Si bien es cierto que se escribe como se piensa, es importante una reflexión sobre la conciencia semántica que tiene la escritura de forma personal y como instrumento para compartir significados.

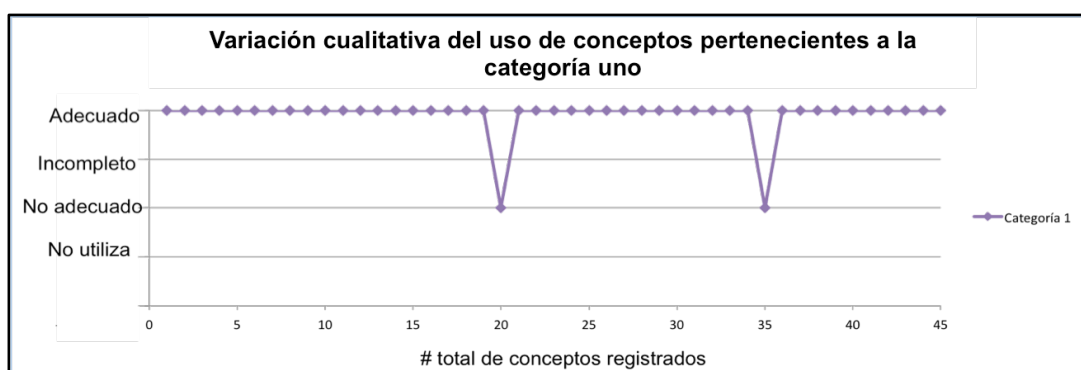


Gráfico 6.15. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría uno. Lina.

En el gráfico 6.15 se resume la descripción del uso correcto de los tres conceptos que están incluidos en la categoría uno. Es notable que solo en dos oportunidades se hace un uso inadecuado de conceptos en un conjunto que comprende 45 oportunidades de utilización de los mismos.

Respecto a la **categoría dos**, Lina utilizó correctamente el concepto de *valencia química*, sin embargo, una mala asignación, en particular las estructuras de los tetraborohidruros, se propaga a diferentes aspectos de la resolución de problemas. Un ejemplo de esta situación, la encontramos en la respuesta al problema 7 (ver figura 6.41), donde se observa una valencia para la sustancia boro y se repite en todos los problemas donde interviene la sustancia NaBH_4 .

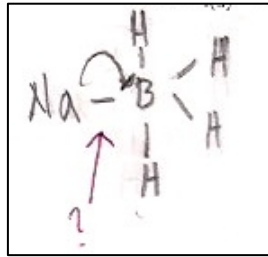


Figura 6.41. Sección de la respuesta de Lina al problema 7

Aportaciones de la entrevista posterior a las respuestas dadas por Lina a los problemas 7, 8 y 9:

Profesor: Lina, en el enunciado del problema aparece la fórmula para el tetraborohidruro de sodio, ¿recuerdas cuando estudiamos su estructura en clase?

Lina: No profe.

Profesor: ¿Recuerdas la valencia para el boro?

Lina: sí ¿es tres?

Profesor: así es, si revisas su configuración electrónica lo puedes confirmar.

Lina: sí, su número atómico es cinco y tiene tres electrones de valencia.

Profesor: en la estructura del tetraborohidruro de sodio lo has representado con cinco enlaces, lo que equivale a 10 electrones de valencia, ¿qué opina de eso?

Lina: ¡yo no sé!, no sabía lo que hacer con el sodio y por eso lo pegué ahí.

Profesor: ¿qué significa que lo pegaste?

Lina: ¡pues que se enlaza con el boro!

La entrevista indica que, a pesar de que Lina tiene el significado adecuado del concepto de valencia química, su aplicación en una situación “nueva” estudiada en clase le crea dificultad. Ella propone una opción de recursividad aparente al unir el sodio al boro en la fórmula estructural al no tener claro qué hacer con él. De nuevo, el error se propaga en la resolución del enunciado cuando el electrófilo es atacado por NaBH_4 , la alternativa es sustituir al sodio por el electrófilo donde persiste la estructura inadecuada, y se desconoce el mecanismo de reducción solicitado en la resolución del problema. La solución completa al problema 7 se muestra en la figura:

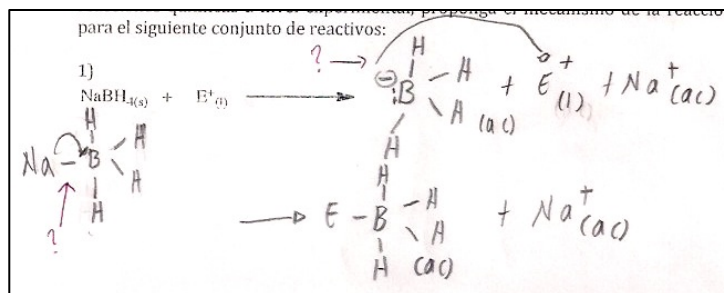


Figura 6.42. Respuesta de Lina al problema 7

La fórmula química estructural para el intermedio de reacción del problema 13 (ver figura 6.43) se representa de forma cuadrado planar, sin embargo, debe ser de geometría tetraédrica.

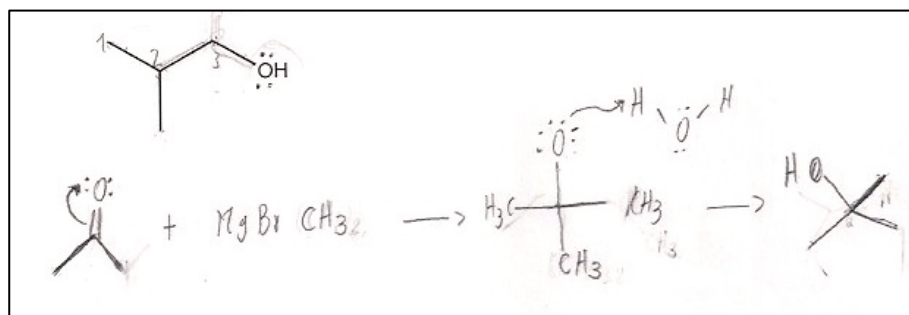


Figura 6.43. Respuesta de Lina al problema 13

Este tipo de representación no es una constante, pues solo fue evidente en la solución del problema 13 en una de las representaciones, mientras que la siguiente estructura se dibuja apropiadamente. Lo regular es una buena representación de los centros tetraédricos. Las *ecuaciones químicas estructurales* son susceptibles a los usos inadecuados en la *valencia* y las *fórmulas estructurales*.

En el gráfico 6.16 se visualiza el grado de utilización adecuada de los conceptos incluidos en la categoría dos. Se puede ver que para los primeros problemas es numeroso el uso inadecuado de conceptos, pero a medida que se avanza va estabilizándose en una adecuada utilización de los mismos.

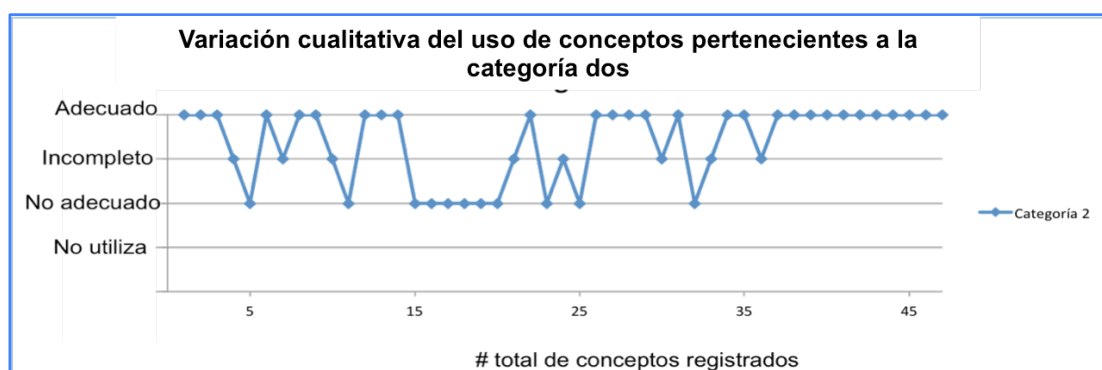


Gráfico 6.16. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría dos. Lina.

Con respecto a los conceptos relativos a la **categoría tres**, el uso de los pares de *electrones libres* es bastante irregular a lo largo del proceso, se escriben aleatoriamente y se usan en algunas oportunidades y en otras no, incluso en un mismo elemento químico han sido representados parcialmente.

En la respuesta de Lina al problema 3 (figura 6.44), en la estructura del intermedio de reacción se detecta que, sobre el oxígeno, a pesar de ser identificado como un anión, solo son representados dos pares de electrones libres, los mismos que en el reactivo cuando la especie es eléctricamente neutra; se observa que en el producto se omiten por completo.

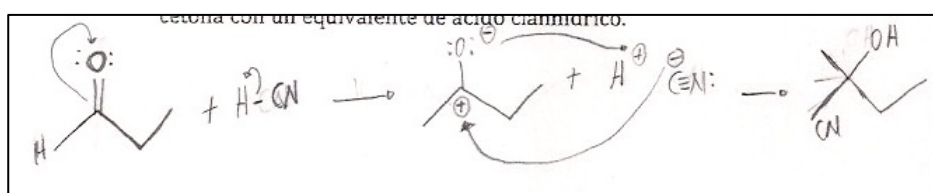


Figura 6.44. Respuesta de Lina al problema 3

Las *cargas eléctricas* suscitaron bastante interés, comenzando con la respuesta al problema 1 (ver figura 6.45) donde aparece una confusión en la asignación de la carga para el nucleófilo.

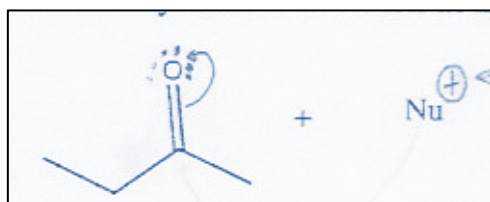


Figura 6.45. Sección de la respuesta de Lina al problema 1

La asignación de la carga positiva a un nucleófilo es un error poco común (por experiencia del investigador) en estas instancias de instrucción. En el problema, tanto el aldehído como el nucleófilo fueron presentados sin *electrones libres*, para identificar cómo es la interpretación del enunciado al omitir esta información. En la respuesta al problema 12 (ver figura 6.46) se encuentra otro uso inadecuado en la asignación de *cargas eléctricas*, en este caso, se sitúa una carga negativa sobre un borano que ya satisface su valencia clásica al tener tres sustituyentes sobre él.

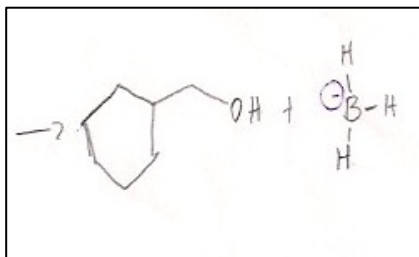


Figura 6.46. Sección de la respuesta de Lina al problema 12

La asignación de *aniones y cationes* se ve afectada por los usos dados a la asignación de cargas, mientras que la *polaridad* es un concepto que no presentó problemas en su implementación. Se observan los movimientos de electrones desde las especies donadoras a las que los aceptan en la resolución de problemas.

A continuación, se presenta el gráfico 6.17 correspondiente a la valoración de los conceptos relativos a la categoría tres. Es evidente el uso irregular que Lina hace de los conceptos que conforman la categoría tres y, aunque por muy poco, predomina el uso adecuado en la mayoría de los conceptos, en muchos casos no son utilizados, lo que indica un bajo dominio conceptual de esta categoría.



Gráfico 6.17. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría tres. Lina.

Para la categoría cuatro la *Notación de Robinson* es otro concepto que presenta alteraciones en su significado, por ejemplo, en la respuesta al problema 1 (ver figura 6.47) detiene su atención en la dirección atribuida a la flecha curva en la última etapa del mecanismo (el nucleófilo ataca al oxígeno carbonílico); al parecer la confusión inicial de la asignación de la carga positiva al nucleófilo repercute en esta etapa del mecanismo, cuando el ataque adecuado va desde el nucleófilo al carbono carbonilo . De

nuevo es importante mencionar, que a este nivel de instrucción no es frecuente este tipo de significado.

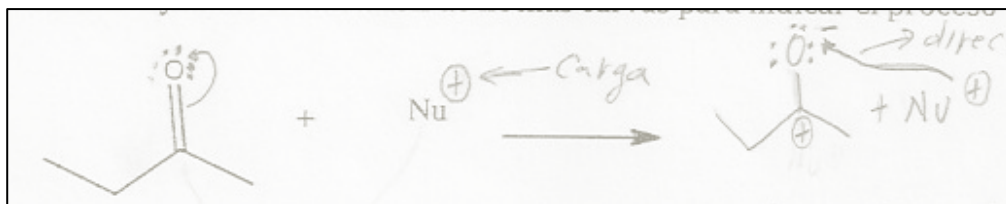


Figura 6.47. Sección de la respuesta de Lina al problema 1

En la respuesta de Lina al problema 3 (ver figura 6.48) acontece una situación similar, representa la rotura del enlace en el interior del ácido cianhídrico hacia la formación de un hidruro y en el resultado es el cianuro quien conserva los pares de electrones.

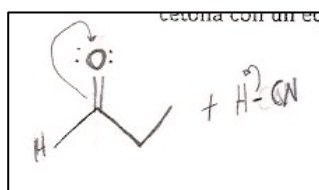


Figura 6.48. Sección de la respuesta de Lina al problema 3

En muchos de los problemas posteriores el ataque parte adecuadamente de la especie nucleofílica, pero de una ubicación centrada en la carga y no de los electrones, sin embargo, en otras oportunidades es adecuada la representación, por ejemplo, en el problema 10, como se puede ver en la figura 6.49.

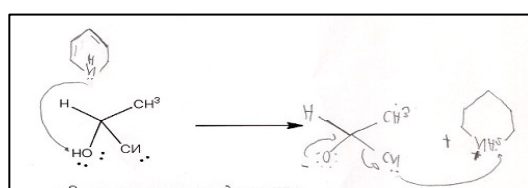


Figura 6.49. Sección de la respuesta de Lina al problema 10

Se presenta una incongruencia en cómo se está haciendo el uso real del concepto, pues parece ser una cuestión de comodidad gráfica según como estén presentadas las estructuras moleculares, lo que permite deducir que no es necesariamente un

desconocimiento del concepto, sino una cuestión de atención a la semántica implícita en la representación de los mecanismos de reacción. Por lo tanto, los mecanismos de reacción en general son mal representados; la inadecuada orientación de la notación de Robinson o su uso fluctuante no ayudan a un buen desempeño en este concepto central de la categoría, lo cual queda patente en el gráfico 6.18.

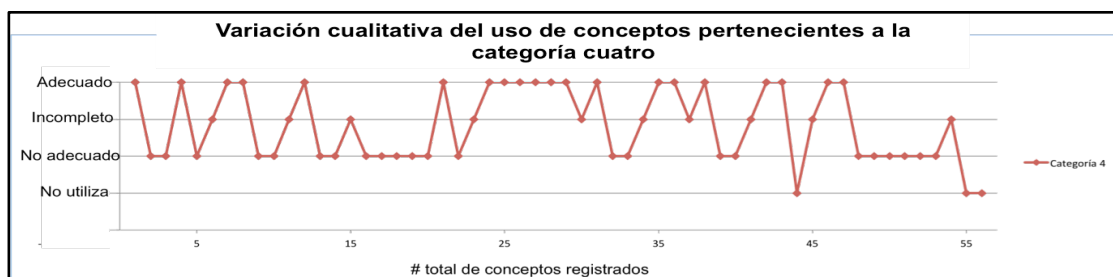


Gráfico 6.18. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría 4. Lina.

En la categoría 5, Lina fue quien menos veces utilizó los conceptos referidos, un poco más de una tercera parte del total de veces fueron descritos como usos entre inadecuados e inexistentes. La geometría molecular resultó ser la protagonista de la categoría y fue igualmente mal utilizada; algunas de las estructuras tetraédricas se representaron cuadrado planares, en el caso del problema 10, al no incluir los tres enlaces dobles en la estructura aromática de la Piridina, al parecer no se reconoce la pérdida de la planaridad (ver figura 6.50) y, por estas razones, no se pudo establecer una evolución favorable de este concepto a lo largo de las intervenciones, a pesar de que por obligación es altamente usado en todos los problemas.

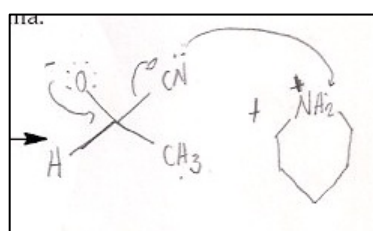


Figura 6.50. Sección de la respuesta de Lina al problema 10

A continuación, se presenta el gráfico 6.19 que incluye una vista de la variación descriptiva del uso de conceptos.

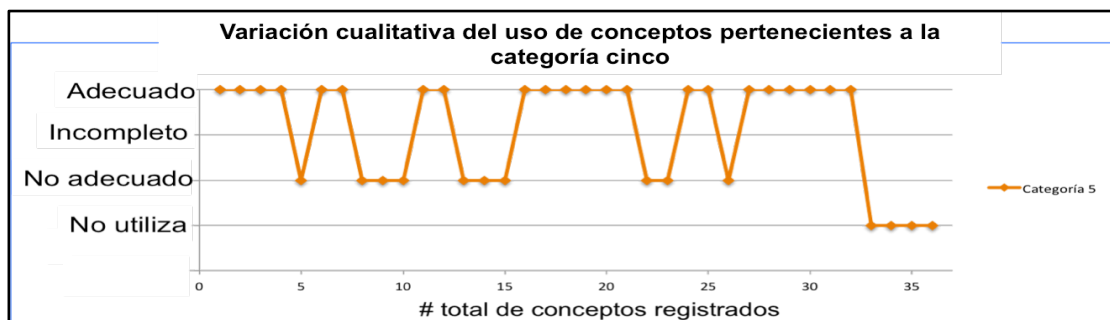


Gráfico 6.19. Variación cualitativa del uso de los conceptos de la categoría cuatro. Lina.

Para finalizar el apartado, en el gráfico 6.20, presentamos los resultados finales que ha obtenido Lina, sobre las respuestas dadas a los 20 problemas propuestos.

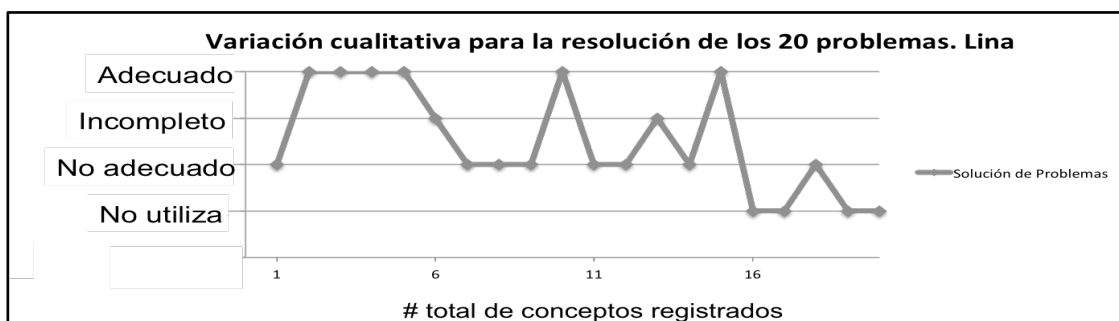


Gráfico 6.20. Variación descriptiva para la resolución de los 20 problemas Lina.

Las respuestas de Lina a los problemas ha permitido clasificarlos de la siguiente forma: 8 ‘no adecuado’, 6 ‘adecuado’, 1 ‘incompletos’ y 4 sin respuesta; estos últimos el 16, 17 y 19, por no asistir a las actividades, y el número 20 no se le consideró por la inasistencia a las instrucciones previas a la intervención.

Tabla 6.17 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Lina

Categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico			
Excelente 4 puntos	Bueno 3 puntos	Regular 2 puntos	Deficiente 1 punto
Categorías	Descripción		Puntuación
Uso básico de símbolos	<i>Capacidad de apropiación oral básica de los símbolos.</i>		2
	- Dispone de un vocabulario de palabras y es capaz de mencionarlas en conversaciones y expresarlas en oraciones.		
	- Es capaz de referenciar términos químicos en las entrevistas.		2

Interpretar	<i>Capacidad de leer e interpretar los símbolos.</i> - Es capaz de identificar representaciones moleculares incompletas o erróneas.	2
	- Es capaz de conectar palabras en frases con contenido de lenguaje natural y lenguaje químico.	3
	- Es capaz de inferir información gráfica proveniente de representaciones estructurales.	2
Representar	<i>Capacidad de representar los símbolos.</i> - Es capaz de dibujar adecuadamente estructuras químicas.	3
	- Es capaz de utilizar diferentes tipos de representaciones moleculares.	2
	- Es capaz de articular frases y declaraciones que contengan elementos del lenguaje químico.	2
Comunicar	<i>Capacidad de compartir y socializar información.</i> - Es capaz de persuadir opiniones del profesor y compañeros durante el diálogo.	1
	- Es capaz de describir procedimientos en la resolución de problemas.	1
	- Es capaz de dar explicaciones y razonamientos durante la puesta en común de la resolución de problemas.	2
CALIFICACIÓN		22 puntos
Nivel 1: 1 a 11 puntos; Nivel 2: 12 a 22 puntos Nivel 3: 23 a 33 puntos; Nivel 4: 34 a 44 puntos		NIVEL ALCANZADO
		DOS

En el Caso de Lina, ella presenta un desempeño muy adecuado para la asignación de la notación química asociada a la categoría uno de conceptos durante todo el período de resolución de problemas; para los conceptos de la categoría dos durante los primeros estadios es de altibajos, pero constante y luego al final de la intervención exhibe una notable mejoría, que conserva. Las categorías tres y cuatro presentan un comportamiento similar e irregular, la notación no se conserva, entra en períodos de desuso, para regresar a uno adecuado lo que permite concluir que no hay un avance en la notación química involucrada al momento de resolver los problemas químicos de la intervención.

Una vez descrito y analizado el desempeño de Lina durante el desarrollo de las actividades llevadas a cabo durante el proceso de enseñanza, se le calificó el dominio del uso en el lenguaje químico alcanzado (tabla 6.17), evidenciado a través de las respuestas a los problemas y las entrevistas que se le realizaron.

Caso Alejo

En la **primera categoría**, referente al uso de los *símbolos químicos*, Alejo siempre muestra una adecuada representación, utiliza las letras mayúsculas de los símbolos de sustancias para el comienzo y las minúsculas para el final, al igual que cuando estas son incluidas en las fórmulas estructurales y mecanismos de reacción. En todos los problemas tratados, mapas conceptuales y pruebas parciales utilizó adecuadamente los símbolos químicos. Así mismo, representó de modo apropiado las *fórmulas químicas* de composición que dependen directamente de la notación de símbolos, incluyendo las relaciones de composición.

Las *ecuaciones químicas* también fueron bien utilizadas, con una única excepción en la respuesta al problema 5, donde no pudo identificar uno de los productos de reacción que faltaba. En consecuencia, los conceptos correspondientes a la categoría uno, son utilizados por Alejo sin dificultad alguna. A continuación, como ejemplo de la óptima aplicación de los conceptos incluidos en la categoría uno, la figura 6.51 se incluye su respuesta al problema 3.

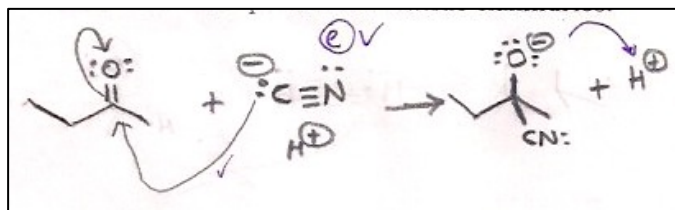


Figura 6.51. Sección de la respuesta de Alejo al problema 3

El gráfico 6.21 resume de modo descriptivo el uso de todos los conceptos relacionados con la categoría uno. Es evidente que Alejo en todos los problemas hace un uso adecuado de todos los conceptos referentes a la categoría uno, y no deja duda de su dominio de los conceptos relacionados.



Gráfico 6.21. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría tres. Alejo

En relación con la **categoría dos**, son de interés los conceptos *valencia química*, *fórmulas químicas estructurales* y *ecuaciones químicas estructurales*, siendo la valencia química un concepto indispensable a la hora de escribir estructuras químicas y fórmulas de composición. En las respuestas a los veinte problemas analizados, Alejo hace un adecuado uso del concepto, incluso en situaciones donde se representan estructuras con valencias extendidas, como es el caso del boro en la respuesta que da al problema 7 (ver figura 6.52).

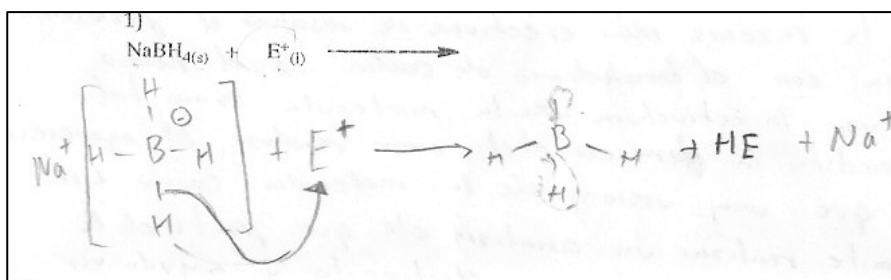


Figura 6.52. Sección de la respuesta de Alejo al problema 7

En la representación de *fórmulas químicas estructurales* aparecen situaciones particulares donde el uso es inadecuado, la figura 6.52 muestra cómo la ubicación del nucleófilo cambia la percepción de la molécula; la simetría tetraédrica sobre carbonos con hibridación sp^3 es representada por Alejo con una disposición espacial que dificulta la percepción, aparentemente el grupo oxi-anión y el nucleófilo se ubican casi en línea recta, lo cual no representa la idea de un centro tetraédrico. Esta misma representación también se presenta en respuestas a otros cuatro problemas, además se incluyen no solo carbonos como centros de simetría, sino también el boro como fue ya se ha mostrado en el problema 7 (ver figura 6.52). Puede ser una percepción sutil, pero es de gran importancia para la interpretación que busca el autor.

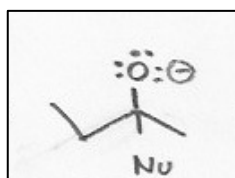


Figura 6.53. Sección de la respuesta de Alejo al problema 1

Las fórmulas químicas estructurales influyen directamente en las *ecuaciones químicas estructurales*, es normal este tipo de relaciones puesto que las representaciones contienen una mayor cantidad de información; es así como se encuentra algunos usos inadecuados atribuibles a la dependencia mencionada, pero es muy importante reconocer que los usos en la mayoría de los eventos han sido adecuados. En las entrevistas, Alejo argumenta su disposición para aceptar las correcciones y sugerencias que le hagan mejorar en la resolución de los problemas.

A continuación, se presenta el gráfico 6.22 que resume el uso de los conceptos referidos a la categoría dos:

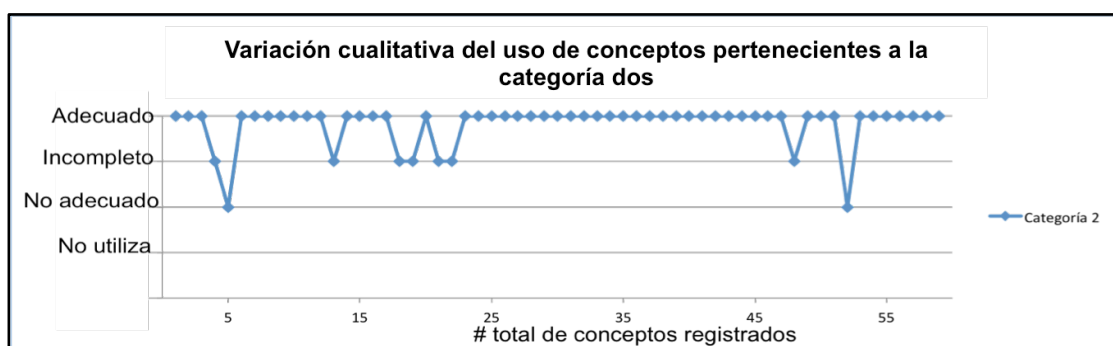


Gráfico 6.22. Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos. Alejo.

De nuevo se puede observar los buenos resultados para conceptos de la categoría dos, pues solo 2 de 60 conceptos se usan inadecuadamente.

Los datos del gráfico 6.21 indican que Alejo muestra una correcta comprensión de los conceptos de la categoría dos, demostrada al solo utilizar inadecuadamente uno de los tres conceptos de esta categoría en dos de las respuestas a los 20 problemas planteados.

La **categoría 3** hace relación a un cuarteto de conceptos que son ampliamente utilizados en el momento de representar y resolver los problemas. Alejo asigna adecuadamente en la mayoría de sus respuestas los *pares de electrones libres* y a través de los mecanismos de reacción, ya que estos son fundamentales en la interpretación que se debe dar a los enunciados.

Sin embargo, no ha utilizado los pares de electrones libres en las respuestas a todos los problemas, en los primeros (los más fáciles) sí los utilizó adecuadamente, luego, durante un periodo de tiempo de aproximadamente cuatro semanas decae en su uso, por ejemplo, en la solución del problema 12 (ver figura 6.54) solo se evidencia en la estructura de un reactivo su utilización.

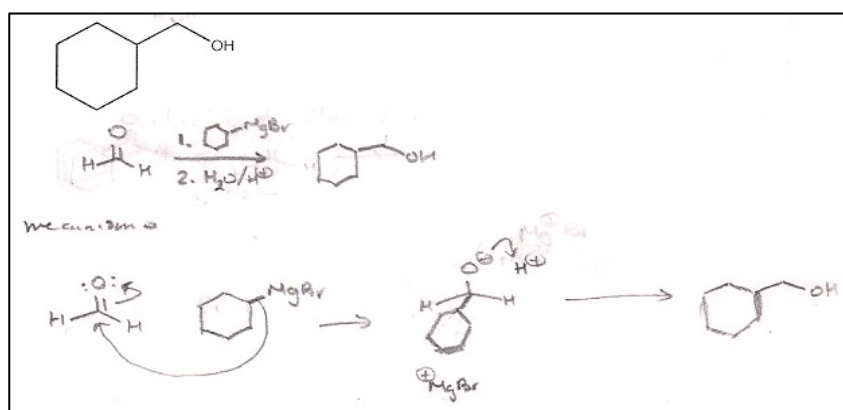


Figura 6.54. Respuesta de Alejo al problema 12

Pero, a partir de este momento los emplea de nuevo aunque intermitente, por ejemplo, en la respuesta al problema 14 (ver figura 6.55), el nitrógeno del grupo amino en el enunciado carece a propósito del par de electrones libres, se nota que este es dibujado en las estructuras restantes y, como se ha dicho antes, es la clave para tomar la decisión de qué grupo carbonilo reaccionará preferencialmente, sin embargo, el mecanismo propuesto no involucra el uso de los pares de electrones en cuestión lo que termina en una solución inadecuada del problema.

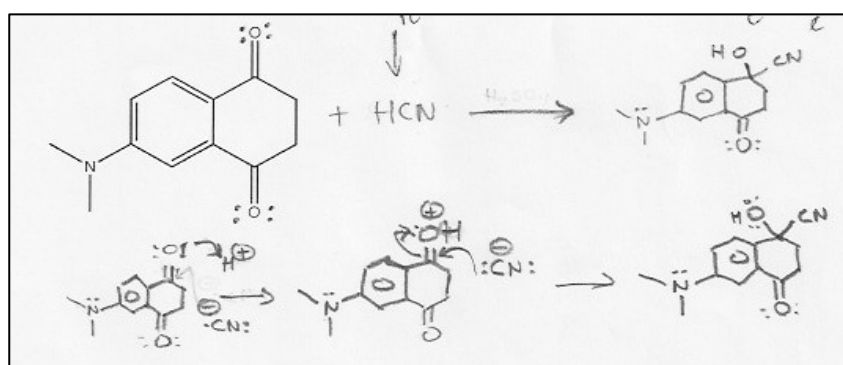


Figura 6.55. Respuesta de Alejo al problema 14

Alejo utiliza correctamente las *cargas eléctricas* en todas las respuestas, excepto la del problema 5, donde no reconoce un producto faltante al final del mecanismo, por lo cual consideramos que domina la asignación de las cargas. La aplicación del concepto formación de *aniones o cationes* no presenta dificultad alguna para Alejo. Tampoco tiene dificultad en la asignación de las *polaridades* en el interior de compuestos, ya sean enlaces o grupos funcionales donde se hace imprescindible identificarlos para proceder con los respectivos movimientos de electrones. Como ejemplo de su uso adecuado, en la figura 6.56, se muestra su respuesta al problema 3.

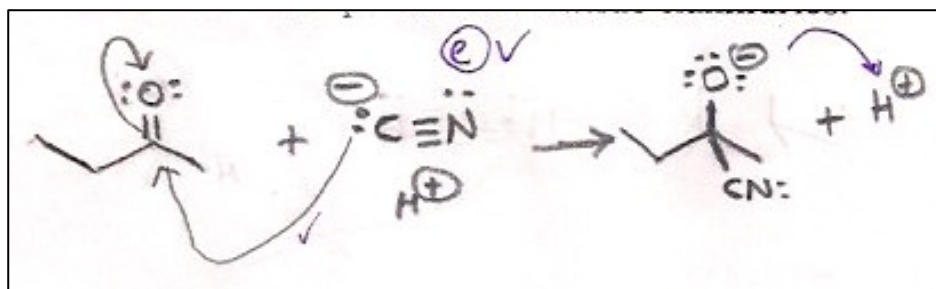


Figura 6.56. Respuesta de Alejo al problema 3

A continuación, se presenta el gráfico 6.23 que resume el uso de los conceptos referidos a la categoría tres:

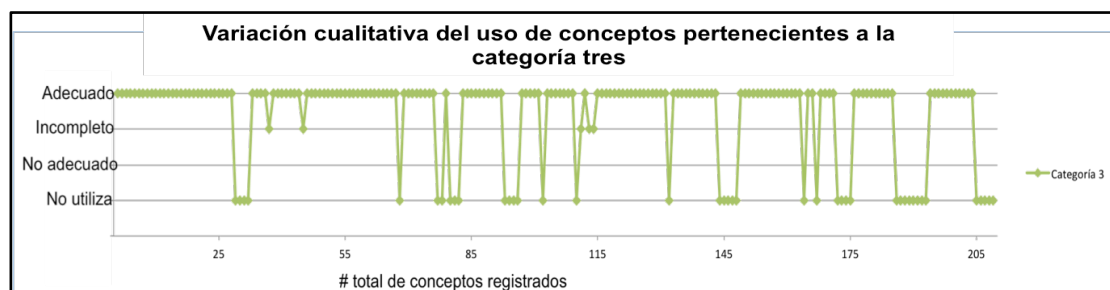


Gráfico 6.23 Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría tres. Alejo.

A diferencia de las anteriores categorías, Alejo presenta en la categoría tres el mayor número de eventos donde no utiliza los conceptos. Sin embargo, en aquellos que les ha utilizado lo ha realizado correctamente, salvo en tres ocasiones que los ha aplicado de forma incompleta. Es probable que la omisión se relacione con algunos de sus comentarios realizados en las entrevistas, posee una creencia de que no es necesario dibujar siempre los términos durante la solución de los problemas, lo que al final se traduce en una resolución incompleta o inadecuada de problemas según los criterios de la revisión, sin embargo, algunos otros docentes pueden considerar las soluciones adecuadas como lo reportan Flynn y Featherstone (2017).

La **categoría cuatro** comprende un conjunto de dos conceptos relacionados, la *notación de flechas curvas* atribuida a *Robinson* y la representación de los *mecanismos de reacción*. Alejo ha demostrado un buen desempeño a través de toda la experiencia de los cursos y la investigación, como puede observarse de las respuestas que ha dado a los problemas propuestos (ver el anexo C) ya que, son pocas las ocasiones donde ha realizado un uso inadecuado de la notación de Robinson. En algunas de estas oportunidades, la omisión de los pares de electrones libres genera lo que parece ser un error forzado puesto que el movimiento de electrones parte de una carga, lo cual puede entenderse como si es esta quien se mueve. Esta situación se ejemplifica en la respuesta al problema 12 (ver figura 5.57) donde en la segunda etapa del mecanismo, cuando el alcóxido ataca al medio ácido, parece ser que es la carga quien ataca.

Aportaciones de la entrevista realizada a Alejo sobre su respuesta al problema 12

Profesor: Veo que resolviste bien el problema, ¿tienes alguna duda?

Alejo: no señor, ¡estaba fácil!

Profesor: yo si te pregunto dos cosas, ¿por qué dibujas en los reactivos los pares de electrones libres y luego no lo haces?

Alejo: yo creo que es por escribir rápido, pero se entiende.

Profesor: Es posible, lo que pasa es que por no escribirlos parece que es la carga la que ataca al medio ácido. ¿Crees qué la carga se mueve?

Alejo: No profe, no se mueve, son los electrones quienes atacan al hidrógeno

Profesor: Debes representarlo bien, de eso depende si realmente tienes una adecuada comprensión y solución del problema.

Alejo: Cuando estoy estudiando normalmente no dibujo los electrones, ya que se dónde están, además profe, como usted es el único que los pide (...)

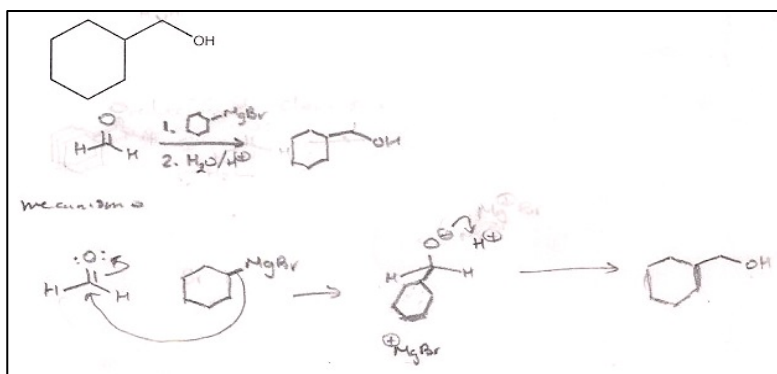


Figura 6.57. Respuesta de Alejo al problema 12

La entrevista da la idea de utilización de los pares de electrones no como modelo hacia la comprensión, sino más bien para el cumplimiento de la norma propuesta por el profesor. Esto implica un criterio más profundo, y es el desconocimiento de la importancia en la notación, si bien es posible dar una respuesta desde el punto de vista resultado adecuado, el camino utilizado no satisface aspectos relevantes de la comprensión del lenguaje químico, los cuales en otros problemas no ha mostrado la capacidad para dar una adecuada solución.

Con relación a los *mecanismos de reacción* fueron evidentes dos tipos de situaciones, la primera donde los mecanismos no fueron completados como es el caso del problema 4 (ver figura 6.58) y el problema 19 y, la segunda, cuando la dificultad del problema no permitió establecer un mecanismo para la solución, como en la respuesta al problema 20 (ver figura 6.59, imagen entre borrada poco visible del intento de solución al problema 20).

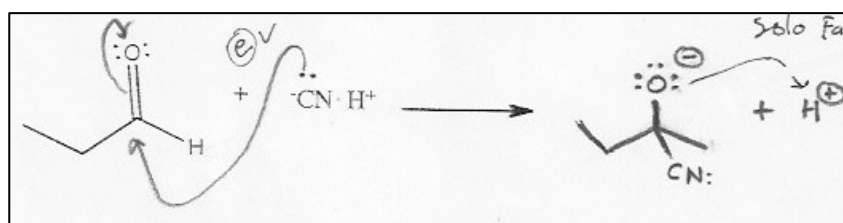


Figura 6.58. Sección de la respuesta de Alejo al problema 4

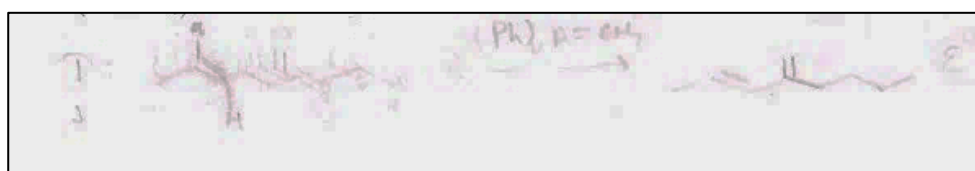


Figura 6.59. Intento de respuesta de Alejo al problema 20

Aportaciones de la entrevista después de la resolución del problema 20

Profesor: ¿Qué te paso?

Alejo: No profe, estaba muy difícil, nadie fue capaz con hacerlo

Profesor: ¿Dónde estaba la dificultad del problema?

Alejo: Tenía muchas cosas, y vea que todas había que saberlas, sino uno se perdía.

Profesor: ¡Pero no hiciste nada!

Alejo: yo renuncié, y hasta borré todo lo que escribí, nos mató profe.

El problema número 20, fue el de mayor grado de dificultad dada la complejidad del enunciado y el contenido total de conceptos químicos involucrados.

A continuación, se presenta el gráfico 6.24, un resumen del uso que hace Alejo de los conceptos referidos a la categoría cuatro.



Gráfico 6.24. Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría Cuatro. Alejo.

El gráfico 6.23 muestra un buen desempeño en el uso y conceptualización de los conceptos referidos a la categoría cuatro; para un conjunto de 78 veces los conceptos registrados en total, Alejo trabaja adecuadamente con más de 60 de ellos lo que en conjunto a las otras tres categorías muestra un dominio conceptual, de la representación y del manejo del lenguaje químico a lo largo del trabajo de resolución de los 20 problemas.

Como ejemplo especial, se trata la solución al problema número 5, el cual requiere escribir un texto que sirva como enunciado de la solución mostrada en detalle, para lo cual Alejo dice:

“A partir del reactivo de la izquierda, muestre el mecanismo de reacción que corresponda a la formación del producto de la derecha”

La pregunta elaborada es básica con respecto a lo que se muestra; para su respuesta se busca solo escribir el mecanismo de reacción, son utilizados tres conceptos químicos generales, y cuando se pregunta si el mecanismo está completo no se identifica el producto secundario faltante. El propósito del problema buscaba que el estudiante realizara un análisis secuencial paso a paso del mecanismo con el fin comprenderlo por completo.

La tabla 6.18 resume los usos atribuidos al lenguaje químico en la resolución del problema 5 por Alejo.

Tabla 6.18: Resumen de la valoración de la utilización del lenguaje químico en la resolución del problema 5, Alejo³

Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3				Categoría 4		Categoría 5			
Problema 5	sq	fqc	eq	Vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	i	A	-	i	x	x	x	A	-	-				

Para los conceptos referidos a la categoría 5 nuevamente Alejo presenta una muy buena apropiación, 9/101 veces entre inadecuadas y no utilizadas, indican que el 90% de las veces los conceptos fueron bien representados e implementados en la resolución de problemas, como en los anteriores casos predomina la geometría molecular, sin embargo, Alejo también hizo uso de orbitales conformaciones y estereoquímica en algunas de las soluciones propuestas incluso en problemas que no los solicitaban explícitamente como el 1, 2, 16, y 19.

A continuación, se presenta el gráfico 6.25, la valoración cualitativa del uso de conceptos de la categoría 5 realizados por Alejo.

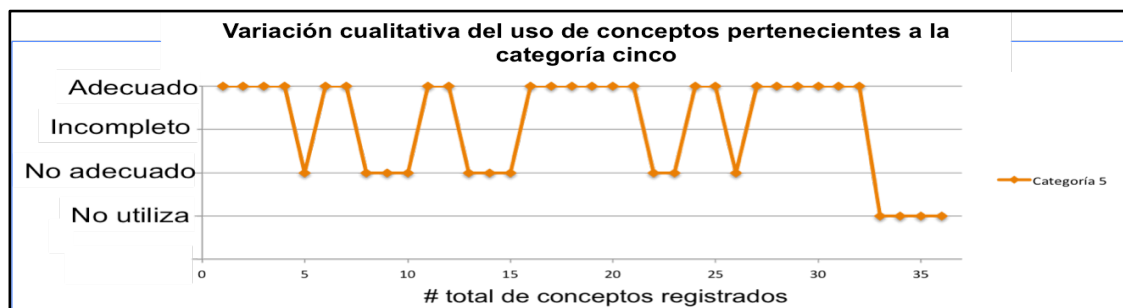


Gráfico 6.25. Valoración del uso de conceptos pertenecientes a la categoría cinco Alejo

En el capítulo de anexos se presentan la solución realizada a todos los problemas acompañados de una tabla que resume los usos atribuidos al lenguaje químico en la resolución de los problemas.

³ Siglas **sq**: símbolos químicos, **fqc**: fórmula química de composición, **eq**: ecuación química, **vq**: valencia química, **fqe**: fórmula química estructural, **eqe**: ecuación química estructural, **pe**: pares de electrones, **ce**: cargas eléctricas, **ac**: aniones y cationes, **p**: polaridad, **rb**: notación de Robinson, **mrxn**: mecanismo de la reacción, **gm**: geometría molecular, **or**: orbitales, **con**: conformaciones, **est**: estereoquímica. Con respecto a los descriptores **A**: Adecuado, **i**: incompleto, **N**: no adecuado, **X**: no utiliza.

Para finalizar el apartado, en el gráfico 6.26, presentamos los resultados finales que ha obtenido Alejo, sobre las respuestas dadas a los 20 problemas propuestos.

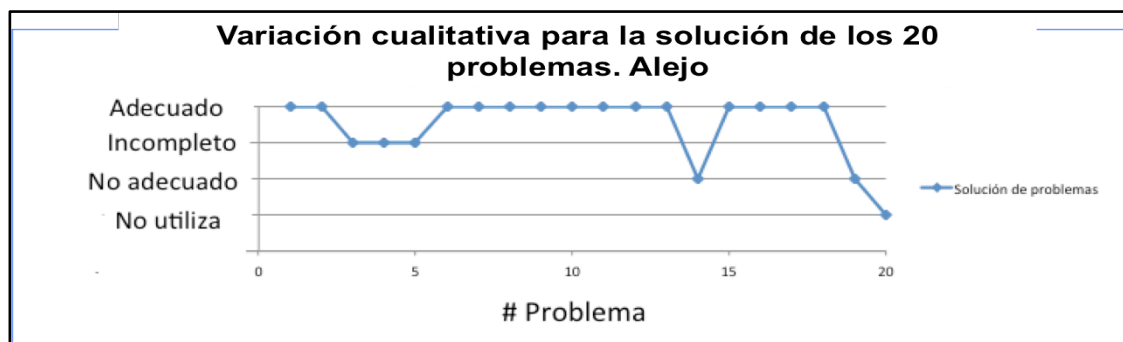


Gráfico 6.26. Valoración cualitativa para la resolución de los 20 problemas Alejo.

Alejo obtiene soluciones calificadas como ‘adecuadas’ en 14 problemas, ‘incompletas’ en 3, ‘no adecuadas’ en 2 y, al final no pudo resolver el problema 20.

Después de la anterior descripción, los resultados muestran los siguientes aspectos sobre el cambio de la notación química: según los conceptos referidos a la categoría uno, durante todo el proceso de la intervención la notación fue acorde con las recomendaciones dadas durante el proceso de instrucción. Para los conceptos referidos a la categoría dos se presenta un cambio significativo, durante la resolución de los primeros problemas aparecen momentos donde la notación de conceptos decae de forma leve, algunos de ellos son representados de forma incompleta y solo en un caso, es decir, una sola notación de forma no adecuada; pasada esta etapa, Alejo regresa a la regularidad completamente de forma adecuada, con una notación clara, recurrente y con significado adecuado. Al final del proceso, en dos problemas diferentes reaparecen errores en un par de notaciones que finalmente son superadas tras el dialogo con el profesor.

La categoría tres es, sin duda, la más pragmática para su descripción: al comienzo de la intervención es muy adecuado el comportamiento, pero a medida que los problemas nuevos se introducen decae la calidad en la notación, durante todo el periodo y hasta finalizar, los altibajos en las respuestas continúan, aunque se observa una leve mejoría. Para los conceptos de la categoría cuatro se cumple un comportamiento similar al de la categoría dos, lo que determina que al final en el proceso de resolución de los

problemas más complicados la notación química se ve reducida en algunas de las representaciones realizadas.

En conclusión, en el Caso de Alejo se puede decir que a medida que aumenta el grado de dificultad de los problemas, la notación química pierde calidad de una forma muy leve para conceptos incluidos en las categorías dos y cuatro, mientras que los de la categoría uno, no sufren alteración y los de la tres permanecen siempre en altibajos.

Una vez descrito y analizado el desempeño de Alejo durante el desarrollo de las actividades llevadas a cabo durante el proceso de enseñanza, se le calificó el dominio del uso en el lenguaje químico alcanzado (tabla 6.18), evidenciado a través de las respuestas a los problemas y las entrevistas que se le realizaron.

Tabla 6.19 Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Alejo

Categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico			
Excelente 4 puntos		Bueno 3 puntos	
Regular 2 puntos		Deficiente 1 punto	
Categorías	Descripción		Puntuación
Uso básico de símbolos	<i>Capacidad de apropiación oral básica de los símbolos.</i> - Dispone de un vocabulario de palabras y es capaz de mencionarlas en conversaciones y expresarlas en oraciones.		4
	- Es capaz de referenciar términos químicos en las entrevistas.		3
Interpretar	<i>Capacidad de leer e interpretar los símbolos.</i> - Es capaz de identificar representaciones moleculares incompletas o erróneas.		4
	- Es capaz de conectar palabras en frases con contenido de lenguaje natural y lenguaje químico.		4
	- Es capaz de inferir información gráfica proveniente de representaciones estructurales.		4
Representar	<i>Capacidad de representar los símbolos.</i> - Es capaz de dibujar adecuadamente estructuras químicas.		3
	- Es capaz de utilizar diferentes tipos de representaciones moleculares.		3
	- Es capaz de articular frases y declaraciones que contengan elementos del lenguaje químico.		4
Comunicar	<i>Capacidad de compartir y socializar información.</i> - Es capaz de persuadir opiniones del profesor y compañeros durante el diálogo.		2

	- Es capaz de describir procedimientos en la resolución de problemas.	3
	- Es capaz de dar explicaciones y razonamientos durante la puesta en común de la resolución de problemas.	3
CALIFICACIÓN TOTAL		37 puntos
Nivel 1: 1 a 11 puntos; Nivel 2: 12 a 22 puntos Nivel 3: 23 a 33 puntos; Nivel 4: 34 a 44 puntos		NIVEL ALCANZADO
		CUATRO

Caso Niko

En la Categoría uno, el estudiante escribe los símbolos químicos elementales durante la resolución de los 20 problemas con representaciones adecuadas, solo en una oportunidad ha escrito el símbolo para la sustancia Litio utilizando la letra 'i' ilegible, justo después de la entrevista acogió la sugerencia de mejora y, en adelante, no presentó ninguna otra representación inadecuada.

Continuando con la categoría uno, en todos los casos la representación de las fórmulas químicas de composición es adecuada, conservando siempre las letras mayúsculas y minúsculas, organizadas y acompañadas de los respectivos subíndices numéricos, articulando los símbolos químicos elementales para las representaciones de las fórmulas químicas de composición y estructurales.

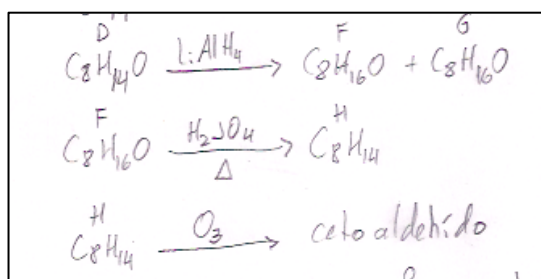


Figura 6.60. Sección de la resolución al problema número 20 realizada por Niko.

Cuando Niko escribe las ecuaciones químicas olvida con frecuencia las fases de las sustancias, y aunque reconoce esa carencia, no se observó que mejorara en la representación de ecuaciones químicas posteriores, como puede observarse en la figura 6.60, una sección de su respuesta al problema 20. Cuando se emiten las fases de las sustancias en las ecuaciones químicas se pierde mucha información, por sus propiedades en contexto de presión y temperatura.

Niko, define bien los reactivos y los productos, y utiliza siempre la flecha que indica la transformación química, como se evidencia en muchos de los problemas la utilización de la doble flecha que representa una reacción en equilibrio, tal como se aprecia en la figura 6.61. Como ya se ha mencionado, la representación adecuada de las ecuaciones químicas es base de las posteriores representaciones de los mecanismos de reacción, de aquí, la importancia de que los estudiantes realicen una diferenciación progresiva y una reconciliación integradora de estos conceptos.

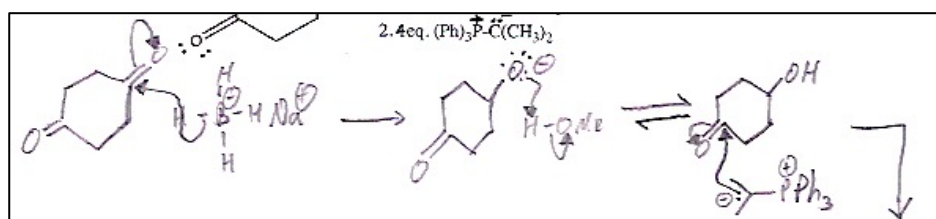


Figura 6.61 Sección de la resolución al problema número 16 realizada por Niko.

A continuación, en el gráfico 6.27, se presenta un compendio de las apreciaciones relativas a la representación asociada a los conceptos pertenecientes a la categoría uno en la resolución de los 20 problemas:

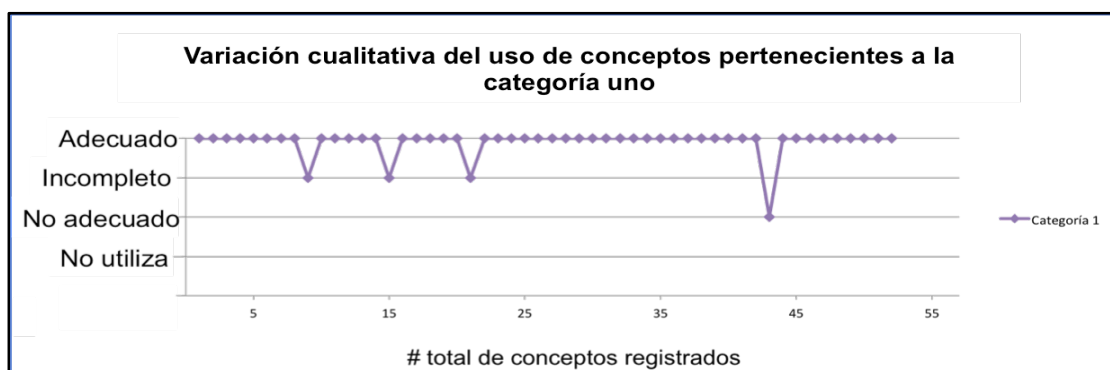


Gráfico 6.27. Valoración cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría uno por Niko.

En los conceptos referidos en la categoría dos, la *valencia química* fue particularmente un concepto que no presentó en el caso de Niko ningún desacuerdo, a lo largo de todas las intervenciones y la resolución de los 20 problemas nunca manifestó error, por lo cual se ha considerado de adecuado dominio. De igual forma para las

fórmulas químicas estructurales solo presentaron dos reportes de usos incompletos del concepto, lo que normalmente ocurre cuando representaba estructuras con segmentos condensados y otra parte con fórmulas extendidas; las *ecuaciones químicas estructurales*, por lo tanto, se vieron permeadas por el mismo problema, como puede verse en la figura 6.62, correspondiente a la respuesta del problema 8.

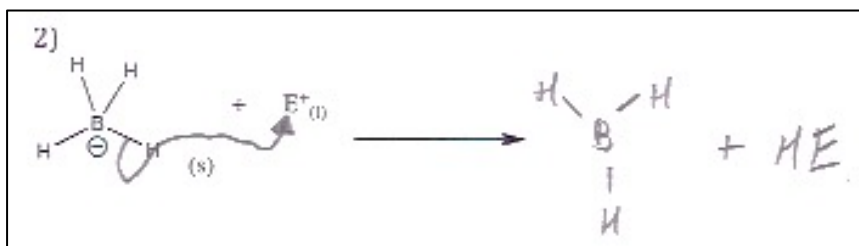


Figura 6.62. Solución al problema número 8 realizada por Niko.

Como observación general, se percibe que los conceptos relativos a la categoría 2, presentaron una muy buena implementación en la resolución de problemas, solo dos desaciertos parciales en 59 veces que fueron utilizados (ver el gráfico 6.28). Debido a que los dos grupos de conceptos de las categorías uno y dos son más concretos y menos abstractos, y se encuentran involucrados directamente con las primeras etapas de la notación química, como en el planteamiento mismo de los enunciados de los ejercicios, se puede considerar que Niko desvela indicadores de un Aprendizaje Significativo representacional en el desarrollo de los ejercicios.

A continuación, se presenta un gráfico que resume las apreciaciones relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría dos (Valencia química, Fórmula química estructural y Ecuación química estructural) para la resolución de los 20 problemas:

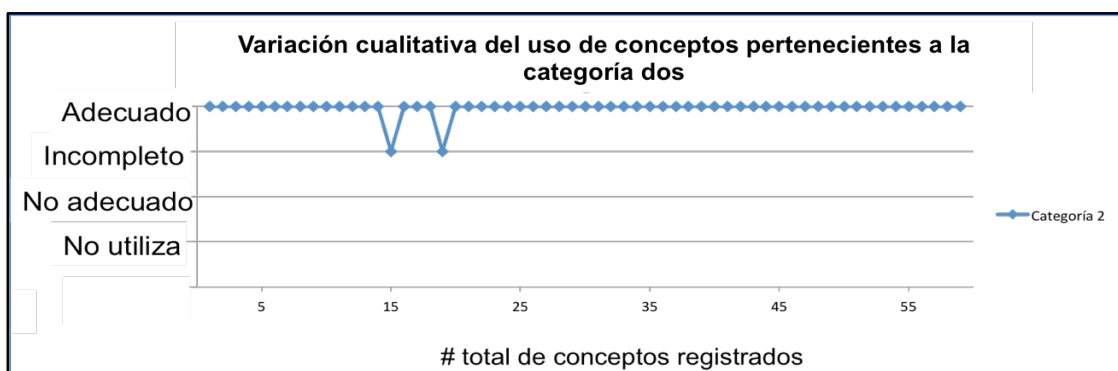


Gráfico 6.28 Valoración del uso de conceptos pertenecientes a la categoría dos. Niko.

Continuando la discusión sobre los conceptos pertenecientes a la **categoría tres**: en la asignación de pares de *electrones libres* fue detectado el primer obstáculo para el planteamiento de los mecanismos de reacción; desde los primeros momentos se observó que Niko realizaba de forma alternada la implementación del concepto, por ejemplo, en el problema 1, dibuja el par de electrones sobre el símbolo del nucleófilo (que a propósito se presentó en el enunciado sin ellos), una vez Niko dibuja el intermediario solicitado no dibuja los pares de electrones sobre el intermedio de reacción que corresponde con la solución del problema (ver figura 6.63).

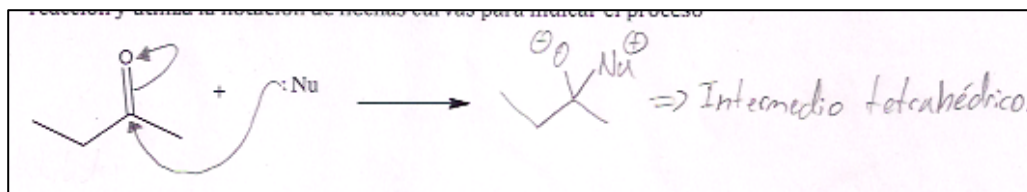


Figura 6.63. Resolución al problema número 1 realizada por Niko

A pesar de que insistentemente en las clases y las asesorías se reitera la importancia de la representación de los pares de electrones en los mecanismos de reacción, Niko continúa dibujándolos de forma intermitente, en el análisis de sus respuestas, después de resolver el problema número 14 y después de una charla con respecto a la solución planteada, Niko expuso lo siguiente:

Profesor: después de revisar la solución del problema veo que no obtuviste la respuesta

Niko: ahh, ¡cómo puede ser!

Profesor: debías escoger uno de los dos carbonilos, son diferentes.

Niko: es verdad, yo escogí el de arriba.

Profesor: ¿y por qué ese?

Niko: por el impedimento estérico del grupo amino de abajo

Profesor: (...) pero olvidaste el par de electrones del grupo amino y el efecto que tienen para en el mecanismo de reacción, al funcionar como grupo donante inactivan el carbonilo de arriba!

Niko: A sí, tienes razón (...)

Profesor: considero que para este caso los dos electrones son clave

Niko: jamás lo hubiera imaginado.

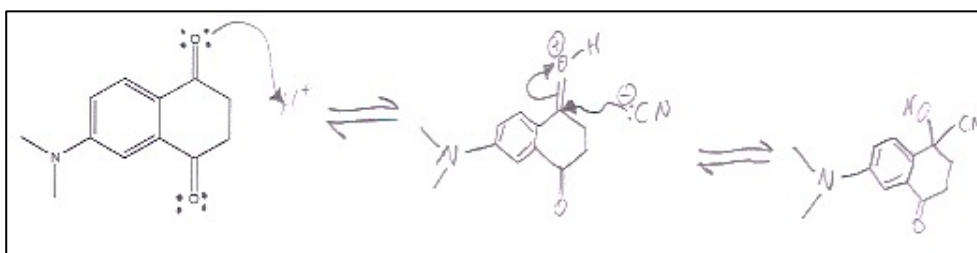


Figura 6.64. Resolución al problema número 14 realizada por Niko

La figura 6.64 corresponde con la respuesta dada por Niko al problema 14. Después de la discusión completa el estudiante menciona que no haber dibujado el par de electrones del grupo amino no fue la causa de la mala elección del grupo carbonilo que sufrió el ataque nucleofílico, y aunque el procedimiento en la solución es adecuado, no se alcanza la respuesta correcta. Niko asegura que, aunque el par de electrones se presentara desde el principio en el enunciado, él solo tenía en mente el impedimento estérico que aportaba el amino al carbonilo de abajo, cuando se le cuestionó sobre si el enunciado aportó pistas para la resolución del problema, aclaró que él solo hizo una lectura rápida sin comprensión de la información y fijó su esfuerzo en la estructura molecular de los reactivos (este aspecto se discutirá con más detalle en el apartado siguiente).

A pesar de la experiencia vivida en la resolución del problema 14, Niko continuó durante todo el proceso dibujando alternadamente los pares de electrones libres, su argumento contundente fue: *“solo los dibujo cuando los necesito ver”*, bajo ningún argumento aceptó dibujarlos, pese que en algunos otros problemas se le hizo la solicitud explícita. Lo anterior no significa que no los identifique y los pueda asignar adecuadamente, sino que parece, más bien, un acto de rebeldía al contradecir la sugerencia de los profesores.

Los otros tres conceptos de la categoría no presentaron inconvenientes, siempre fueron bien dibujadas las cargas eléctricas, identificados los aniones y cationes y, por ende, la polaridad en los enlaces. Todos los fallos mostrados en el gráfico 6.28 se deben a la omisión en la representación de los pares de electrones libres; cabe aclarar que, a pesar de esto, algunos profesores pueden aceptar esta omisión y calificar como adecuadas, (Flynn y Featherstone, 2017), sin embargo, bajo los criterios de esta investigación, han sido catalogadas como errores en la representación.

En el gráfico 6.29 están resumidas las apreciaciones relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría tres, para la resolución de los 20 problemas:

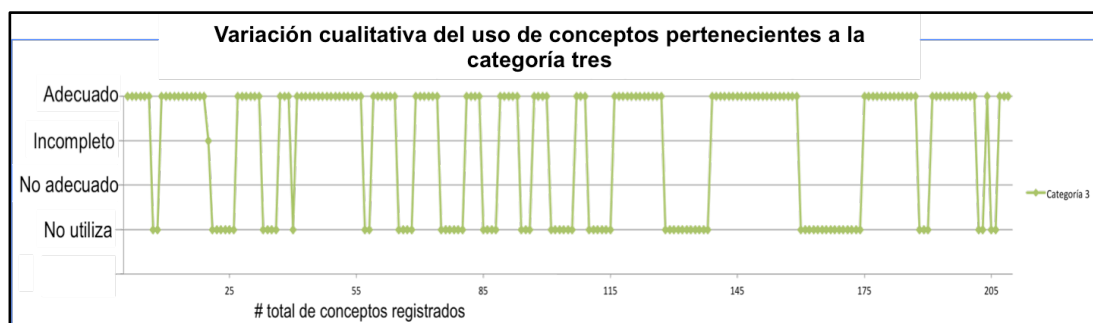


Gráfico 6.29. Valoración cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría tres. Niko.

Categoría cuatro. El uso de la *notación de Robinson* presentó, en algunos casos, la no representación del concepto a pesar de que en el mismo mecanismo se dibujaron adecuadamente las flechas curvas, por ejemplo, en la respuesta al problema 3, en un paso inmediatamente anterior no se representa, pero se infiere la transformación química; de igual forma este comportamiento avanzó junto a los problemas, como se puede apreciar en la respuesta a los problemas 12 y 15 mostrados en la figura 6.65.

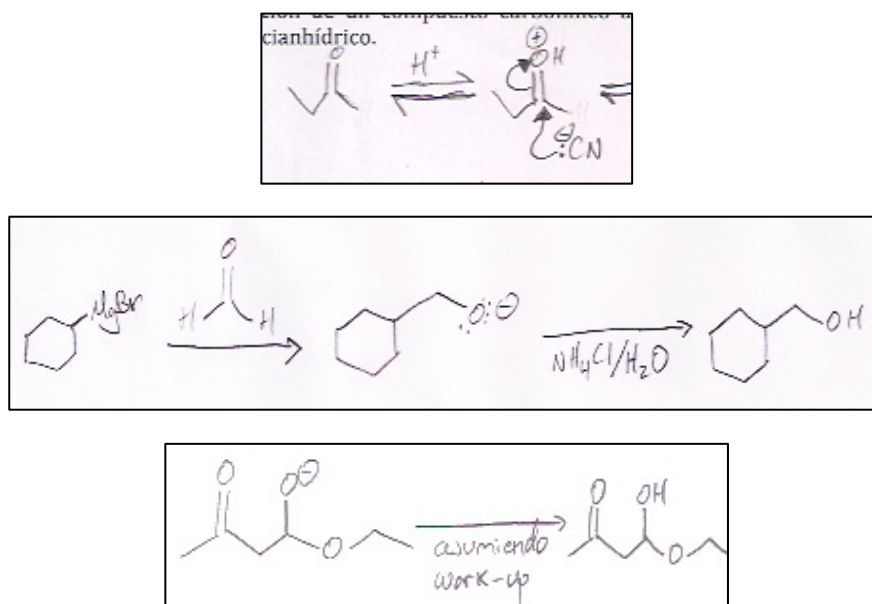


Figura 6.65. Secciones de las respuestas de Niko a los problemas 3, 12 y 15 respectivamente.

Después de la entrevista, Niko argumenta que los pasos son tan simples que no encuentra necesario representar el proceso, como en los problemas 3,12 y 15; para estos momentos de la intervención era muy notable el alto grado de dominio conceptual, de 15 problemas solo dos fueron resueltos inadecuadamente, lo que lo posiciona de forma muy favorable, sin embargo, cuando se enfrentó al problema número 17 y no encontraba cómo proceder para alcanzar la solución, mencionó que cuando es alta la dificultad de un problema toda la información disponible adquiere suma importancia, es decir, que el texto del enunciado que antes era leído de forma rápida y sin hacer ninguna reflexión, ahora se convierte en un aliado importante, a pesar de que solo en el problema 20 continuó obviando la representación de flechas curvas, en los problemas 18 y 19 los realizó consecuentemente con la solución.

El investigador insiste que cuando se posee alta experiencia en la comprensión de los mecanismos de reacción, hay una tendencia general de omitir el dibujo de etapas, estructuras intermedias cargas eléctricas y pares de electrones libres, sin embargo, siempre se recomendó a los estudiantes que dibujaran completamente los mecanismos.

En general, los mecanismos de reacción han sido bien representados por Niko, pero en cinco ocasiones estos no se hicieron completos, al reconocer que incluyen múltiples etapas, mostrando el movimiento de electrones, el rompimiento, formación de enlaces y la deslocalización de cargas, entre otros.

A continuación, se presenta un gráfico donde están resumidas las apreciaciones relativas a los conceptos pertenecientes a la categoría cuatro en la resolución de los 20 problemas:

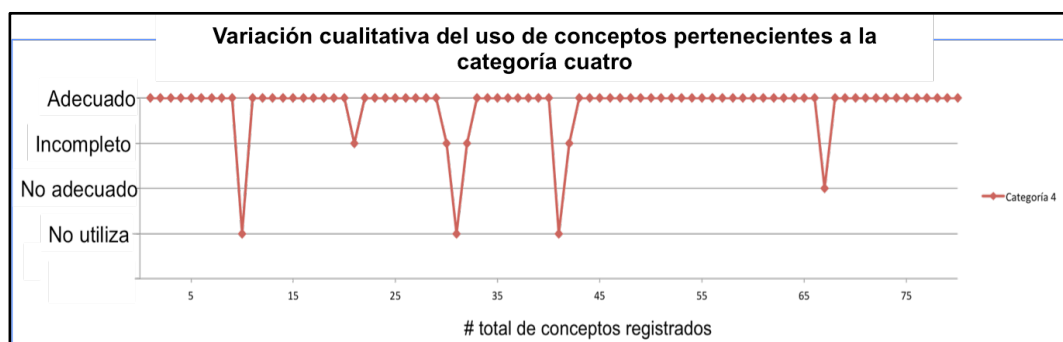


Gráfico 6.30. Valoración cualitativa del uso de conceptos de la categoría cuatro. Niko.

Es notorio el uso adecuado de los dos conceptos de la categoría cuatro, a medida que los problemas crecen en dificultad, permitieron ver una transición del pensamiento frente a los enunciados y los conceptos necesarios para enfrentar estos nuevos problemas. Niko, quien hasta el momento presenta el mejor nivel conceptual, demostró que un problema que se sitúa por fuera de su “zona de confort” puede ser un punto de coyuntura a favor del profesor para resaltar la importancia de la notación química, no solamente para quien la escribe sino también para los posibles receptores como compañeros, editores de revista y otros tantos colegas a nivel profesional.

Las respuestas dadas por Niko sobre los conceptos referidos a la **categoría 5** permitieron inferir los significados atribuidos para la *geometría molecular*, y en pocos casos para la *conformación* al igual que para la *estereoquímica*.

Se ha encontrado que las representaciones para *geometría molecular* son bien utilizadas, al depender en mayor medida de conceptos referidos en las categorías 1 y 2; en cinco oportunidades fueron utilizadas inadecuadamente, coincidiendo con la representación de estructuras tetraédricas en forma de estructuras cuadrado-planares. En este punto y después de recordar los resultados anteriores, para la categoría 5 de los estudiantes, se rastreó en un libro de texto muy utilizado por los estudiantes, como es el caso del libro de Química Orgánica de Wade (2004), las representaciones del Tetra Boro hidruro de Sodio y el Tetra hidruro de Aluminio y Litio se presentan con una estructura cuadrado planar, a esto se puede deber el error tan marcado en las representaciones de estos compuestos. En las demás estructuras se conservan las representaciones lineo angulares, tetraédricas y trigonales planares con total normalidad.

En la resolución de todos los problemas nunca se evidenció la representación de algún orbital; si bien es cierto que no se pide explícitamente que se haga, sólo se suponía la probabilidad de que los estudiantes, en algunos de sus análisis, los utilizaran y así poder rastrear su significado. Para los conceptos de conformaciones y estereoquímica, Niko los ha utilizado en los problemas clave que requieren de este tipo de representación (problemas 19 y 20), su implementación fue adecuada, a pesar de que dichos problemas no lograron ser resueltos completamente. Se observaron variaciones en las conformaciones necesarias para la solución del problema 19, acompañadas de la estereoquímica molecular. Estas últimas aseveraciones sitúan de nuevo a Niko como un estudiante que domina los conceptos, los aplica, los comprende y los utiliza según la

necesidad de la respuesta, constituyendo un indicador de Aprendizaje Significativo proposicional.

A continuación, se presenta en el gráfico 6.31 la valoración cualitativa del uso de los conceptos para la categoría 5.

En el gráfico 6.31 se observa el adecuado uso que se hace de los conceptos de la categoría, solo 10 veces los conceptos no son usados en un conjunto registrado de 85 eventos, lo que indica una posición favorable en el uso y representación de los conceptos.

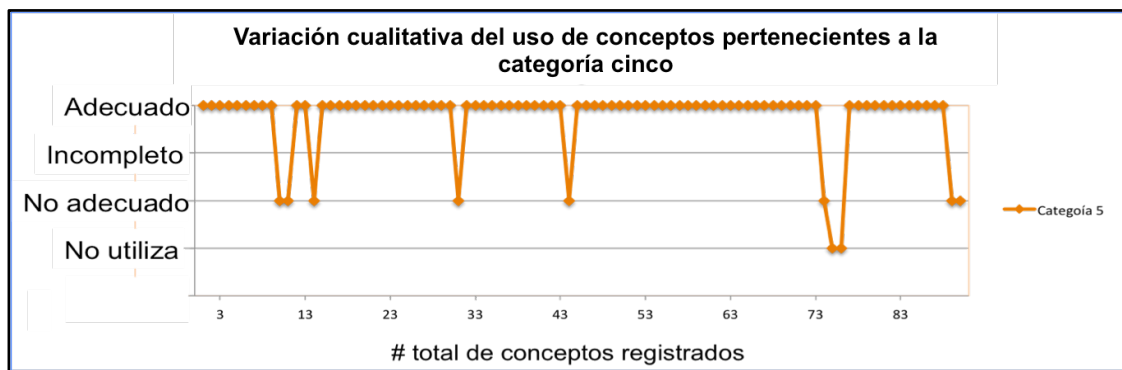


Gráfico 6.31. Valoración cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría cinco por Niko.

Para finalizar este apartado, en el gráfico 6.32 se exponen los resultados finales de Niko, sobre las respuestas dadas a los 20 problemas propuestos.

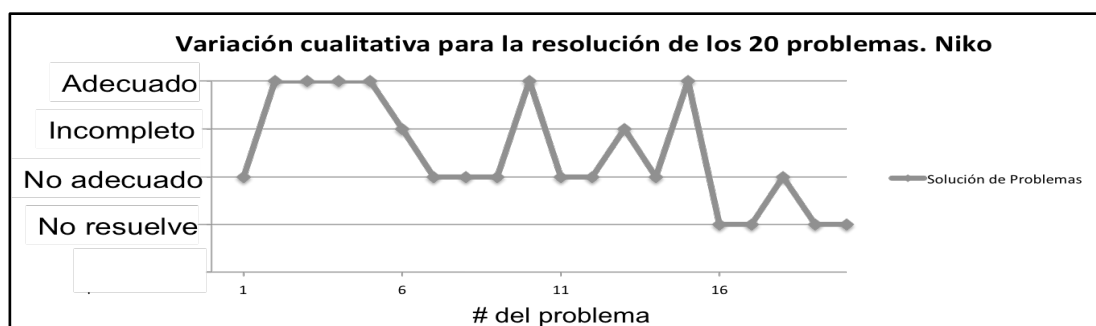


Gráfico 6.32. Variación descriptiva para la resolución de los 20 problemas Niko.

Niko proporciona soluciones adecuadas en 12 de los 20 problemas, 5 de ellos de forma incompleta y 3 inadecuada. Contestó todos los 20 problemas y su desempeño fue exitoso, al asumir con total responsabilidad las actividades relativas al proceso de investigación. Todos los problemas significaron para él un reto y no se rindió ante ninguno de ellos, a pesar de que en algunos expresó su angustia. Finalmente, en relación con la notación química, los resultados indican que en los conceptos de la categoría uno no hay ninguna dificultad, al igual que en los de la categoría dos.

En la categoría tres fue donde predominó su carácter al no aceptar, en poco más de la primera mitad del tiempo de las intervenciones incluir la notación de pares de electrones libres en los mecanismos completos, aunque mejora notablemente hacia el final, pero sin ser completamente utilizado. De nuevo, en las categorías 4 y 5, demuestra su potencial de dominio de conceptos, realizando adecuadamente las representaciones y relaciones necesarias para la resolución de los problemas.

Categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico			
Excelente 4 puntos		Bueno 3 puntos	
Regular 2 puntos		Deficiente 1 punto	
Categorías	Descripción		Puntuación
Uso básico de símbolos	<i>Capacidad de apropiación oral básica de los símbolos.</i> - Dispone de un vocabulario de palabras y es capaz de mencionarlas en conversaciones y expresarlas en oraciones.		3
	- Es capaz de referenciar términos químicos en las entrevistas.		4
Interpretar	<i>Capacidad de leer e interpretar los símbolos.</i> - Es capaz de identificar representaciones moleculares incompletas o erróneas.		4
	- Es capaz de conectar palabras en frases con contenido de lenguaje natural y lenguaje químico.		4
	- Es capaz de inferir información gráfica proveniente de representaciones estructurales.		3
Representar	<i>Capacidad de representar los símbolos.</i> - Es capaz de dibujar adecuadamente estructuras químicas.		3
	- Es capaz de utilizar diferentes tipos de representaciones moleculares.		3
	- Es capaz de articular frases y declaraciones que contengan elementos del lenguaje químico.		4
Comunicar	<i>Capacidad de compartir y socializar información.</i> - Es capaz de persuadir opiniones del profesor y compañeros durante el diálogo.		4

	- Es capaz de describir procedimientos en la resolución de problemas.	3
	- Es capaz de dar explicaciones y razonamientos durante la puesta en común de la resolución de problemas.	4
	TOTAL	39 puntos
Nivel 1: 1 a 11 puntos; Nivel 2: 12 a 22 puntos Nivel 3: 23 a 33 puntos; Nivel 4: 34 a 44 puntos		NIVEL ALCANZADO CUATRO

Tabla 6.20. Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Niko

Una vez descrito y analizado el desempeño de Niko durante el desarrollo de las actividades llevadas a cabo en el proceso de enseñanza, se le calificó el dominio del uso en el lenguaje químico alcanzado (tabla 6.20), evidenciado a través de las respuestas a los problemas y las entrevistas que se le realizaron.

Caso Carlos

En la **primera categoría**, referente al uso de los *símbolos químicos*, Carlos evidenció muchas representaciones inadecuadas, particularmente del símbolo químico para el oxígeno; lo mostraba como un círculo incompleto de tamaño reducido, de forma que él mismo no reconocía al serle presentado de forma aislada en una ocasión; otros símbolos como el del Hidrógeno y el Nitrógeno fueron en menor proporción mal representados, como se aprecia en la figura 6.66 (respuesta al problema 11). Para las *fórmulas químicas de composición*, las representó de modo apropiado en todas las oportunidades incluyendo las relaciones de composición. Por último, las *ecuaciones químicas* también fueron bien utilizadas en todos los problemas. En consecuencia, los conceptos correspondientes a la categoría uno, son bien utilizados por Carlos con la salvedad de algunos símbolos químicos.

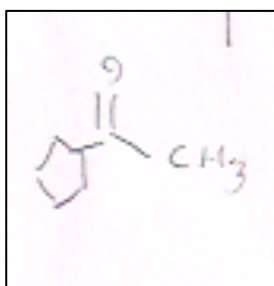


Figura 6.66. Sección de la respuesta de Carlos al problema 11

El gráfico 6.33 resume, de modo cualitativo, el uso de todos los conceptos relacionados con la categoría uno. Es evidente que Carlos en todos los problemas hace un uso adecuado de todos los conceptos referentes a la categoría uno y no deja duda de su dominio de los conceptos relacionados.

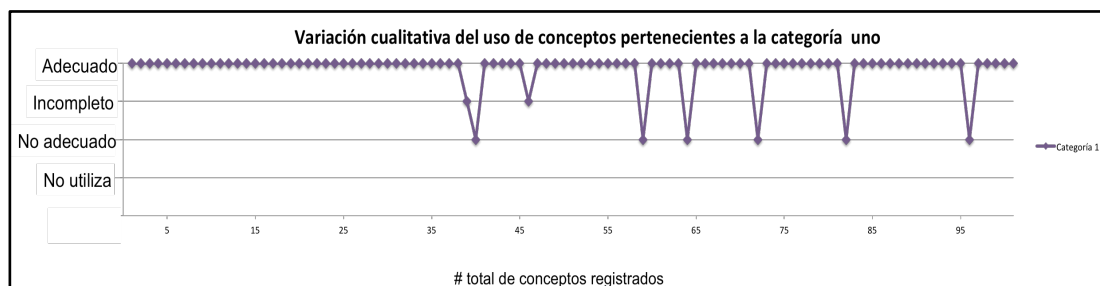


Gráfico 6.33. Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría uno. Carlos

En relación con la **categoría dos**, el concepto de *valencia química* fue siempre bien implementado, incluso en las estructuras más complejas. Las *fórmulas químicas estructurales* presentaron 4 usos inadecuados desde la representación, mostrando estructuras inconexas que debilitan la interpretación del enlace químico, concepto fundamental en la interpretación de los mecanismos de reacción como la ilustra la figura 6.67.



Figura 6.67 Secciones de las respuestas de Carlos a los problemas 13 y 16.

Para las *ecuaciones químicas estructurales* en las respuestas a los veinte problemas analizados, Carlos hace un adecuado uso del concepto, excepto en tres ocasiones referentes a los problemas 11 y 13; en ellas distorsiona las estructuras, lo que puede llevar a una confusión por parte del lector, al mostrar la simetría tetraédrica sobre carbonos con hibridación sp^3 , como cuadrado planares. Esta categoría es la mejor utilizada por Carlos a lo largo de trabajo, como se verá más adelante junto a la categoría cinco.

En las entrevistas, Carlos atiende las recomendaciones y acepta las sugerencias e intenta aplicarlas para mejorar la resolución de los problemas.

A continuación, se presenta el gráfico 6.34 que resume el uso de los conceptos referidos a la categoría dos. Se puede observar que una amplia mayoría son buenos, solo seis conceptos se usan de forma incompleta y no adecuada.

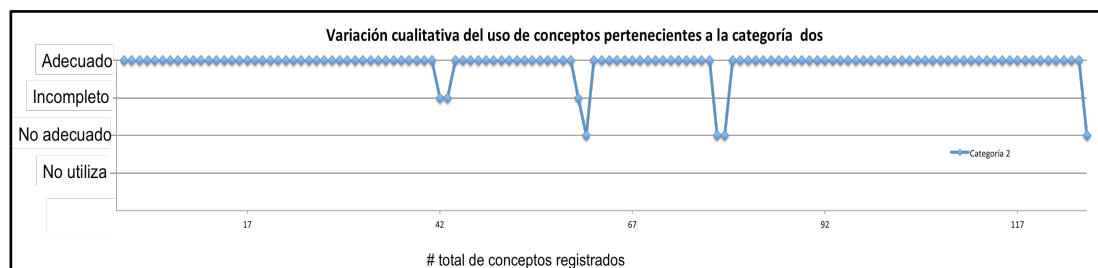


Gráfico 6.34. Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría dos. Carlos.

Los datos del gráfico 6.34 indican que Carlos muestra una correcta aplicación y comprensión de los conceptos de la categoría dos, como también las entrevistas realizadas lo confirman.

La **categoría 3** hace relación a un cuarteto de conceptos fundamentales al momento de representar y resolver los problemas. Carlos no asigna en sus respuestas los *pares de electrones libres*, ya sea que se le soliciten explícitamente o no, esto lleva a que los mecanismos de reacción siempre estén considerados como incompletos, como ya se ha mencionado, es posible que algunos profesores consideren esta particularidad como poco importante, puesto que al final es posible dar una respuesta acertada a los problemas.

Después de consultar a Carlos sobre por qué omite su representación, conduce de nuevo la justificación al uso del libro de texto de Clayden, Greeves, Warren y Wothers (2001), que muestra en muchas de sus páginas ejemplos de mecanismos de reacción donde se omite la representación de pares de electrones libres y, a pesar que el estudiante acepta que son los electrones quienes se mueven a través de los mecanismos de reacción y no las cargas, en las resoluciones a los problemas siguientes continuó omitiéndolos.

La situación anterior condujo a una conjetura que pudo ser resuelta después de una consulta de los diarios de campo, donde se señalaba que Carlos normalmente asistía a clases y se retiraba antes de terminar, aunque también figuraban varias inasistencias. Concretamente, en una de las entrevistas se comentó lo siguiente:

Profesor: Carlos, ¿es posible que me expliques cómo diste respuesta al problema de la tarea?

Carlos: Sí señor, comencé por definir la estructura del producto de la reacción, ...

Profesor: bien, pero ¿por qué insistes en representar dentro del mecanismo el movimiento de las cargas?; ya hemos hablado de eso, son los electrones quienes se mueven al utilizar la notación de flechas curvas, ¿estás de acuerdo?

Carlos: sí, ¡pero se me olvida!

Profesor: a propósito ¿por qué no fuiste a la clase de ayer? Trabajamos una parte nueva de los reactivos organometálicos (...)

Carlos: tenía una cita médica, llegué tarde y me dio pena entrar. La verdad me da pereza entrar a la clase y prefiero estudiar solo en mi casa.

En el transcurso de la entrevista Carlos dio a entender no estar muy a gusto en la clase y mencionó varias veces que prefería estudiar a través del libro de texto. Efectivamente, se encontró que las representaciones utilizadas en muchos de los problemas se corresponden con las mismas que aparecen publicadas en el libro, dando a entender que el estudiante, como fue evidenciado con otros estudiantes, “copia o imita” la forma en que son representadas las fórmulas estructurales, las flechas curvas, las cargas eléctricas, es decir, los mecanismos de reacción que se dibujan en las clases. Razón por la cual, Carlos siempre omitió la representación de los pares de electrones libres, a pesar de que cuando fue consultado es capaz de indicar el número y posición en las fórmulas y mecanismos

Carlos utiliza adecuadamente las *cargas eléctricas* en todas las respuestas, exceptuando los problemas 3, 16 y 19, donde en los tres casos omite representarlas. La aplicación del concepto formación de *aniones o cationes* no presenta dificultad alguna e igual que para el concepto anterior, solo los omitió en los mismos tres problemas. Tampoco tiene dificultad en la asignación de las *polaridades* en el interior de compuestos, ya sean enlaces o grupos funcionales y así proceder con los respectivos movimientos de electrones en los mecanismos de reacción. Un ejemplo de su uso adecuado se muestra en la figura 6.68, que corresponde a su respuesta al problema 11.

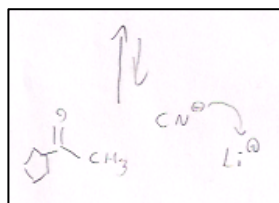


Figura 6.68. Sección de la respuesta de Carlos al problema 11

A continuación, se presenta el gráfico 6.35 que resume el uso de los conceptos referidos a la categoría tres:

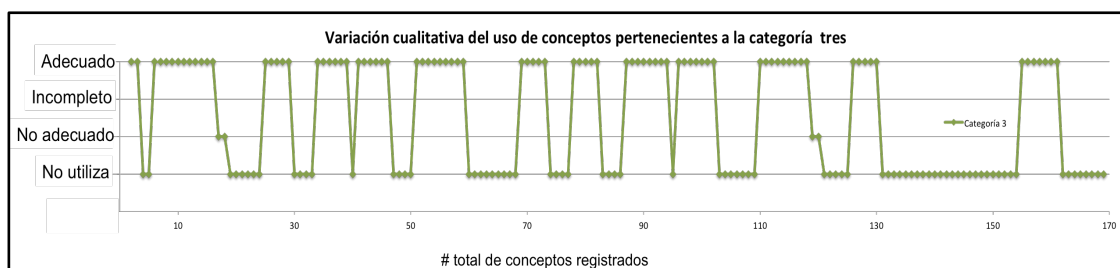
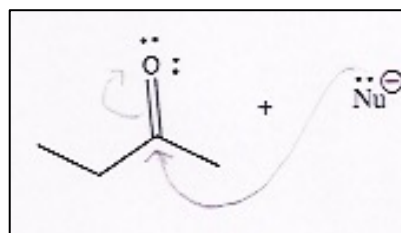
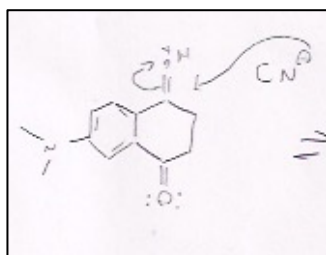


Gráfico 6.35 Variación cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría 3. Carlos.

En esta categoría, como puede verse en el gráfico 35, Carlos presenta el mayor número de eventos donde no utiliza los conceptos; más del 95% se atribuye a la no utilización de pares de electrones libres, sin embargo, en las únicas veces que los ha empleado, lo ha realizado correctamente. La omisión se relaciona con sus comentarios realizados en las entrevistas, debido al uso intensivo del libro de texto y, que al final, considere que no es necesario dibujarlos durante la solución de los problemas; esto se traduce en una resolución incompleta y, en algunos casos, inadecuada como fue el caso del problema 14.

La **categoría cuatro** y su conjunto de dos conceptos relacionados, la *notación de flechas curvas de Robinson* y la representación de los *mecanismos de reacción* fueron para Carlos de aceptable desempeño a través de toda la experiencia de los cursos y la investigación, como puede observarse en las respuestas que ha dado a los problemas propuestos. No obstante, son muchas las ocasiones donde ha realizado un uso de la notación de Robinson entre inadecuado e incompleto; esto repercute de inmediato en el segundo concepto de la categoría y, acompañados de la omisión de los pares de electrones libres, genera problemas de comprensión dado que el movimiento de electrones parte de una carga eléctrica, lo que refuerza la idea de que es la carga quien se mueve. Esta situación se ejemplifica en la respuesta al problema 14, cuando los pares de electrones son representados, ya sea por el mismo estudiante o como parte del enunciado; en la figura 6.69 se advierte una adecuada representación de la etapa del mecanismo de reacción.



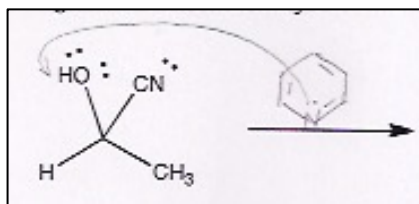


Figura 6.69. Sección de las respuestas de Carlos a los problemas 14, 2 y 10 respectivamente.

En relación a los *mecanismos de reacción* fue evidente una situación donde las etapas de los mecanismos no se dibujaban y se llegaba a una respuesta que “aparecía”, como es el caso del problema 19 (ver figura 6.70) y el problema 20.

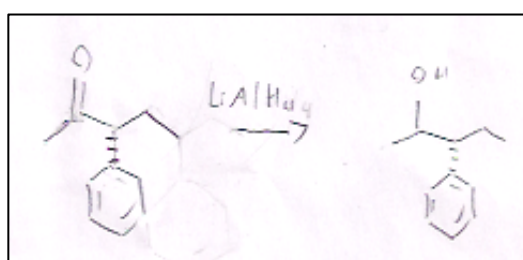


Figura 6.70. Respuesta de Carlos al problema 19.

A continuación, se presenta en el gráfico 6.36 un resumen del uso que hace Carlos de los conceptos referidos a la categoría cuatro.

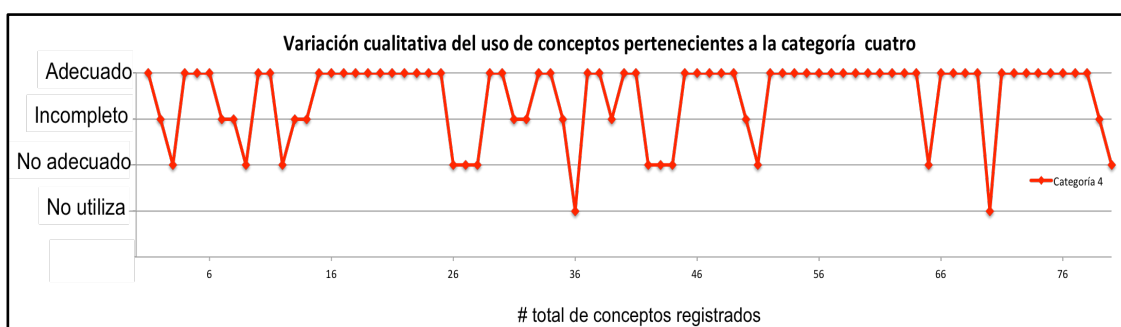


Gráfico 6.36. Variación cualitativa del uso de conceptos de la categoría Cuatro. Carlos.

El gráfico 6.36 muestra un buen desempeño en el uso de los conceptos referidos a la categoría cuatro. De las 80 posibilidades para emplear correctamente los conceptos, 11 se han utilizado de forma incompleta, 12 de forma no adecuada y en dos ocasiones no se han utilizado. En general, teniendo en cuenta los resultados de todas las

categorías, Carlos ha mostrado un buen dominio conceptual, de la representación y del manejo del lenguaje químico, a lo largo del trabajo de resolución de los 20 problemas.

Por último, Carlos utilizó en el 90% de las posibilidades de forma adecuada los conceptos referidos a la categoría 5, fundamentalmente el concepto de *geometría molecular*. Este concepto lo representaba e implementaba correctamente en la mayoría de las resoluciones de los problemas, solo en 6 lo hace de forma inadecuada o no lo utiliza.

A continuación, se presenta en el gráfico 6.37 la valoración cualitativa del uso que Carlos hace de conceptos de la categoría 5 en la resolución de los problemas.

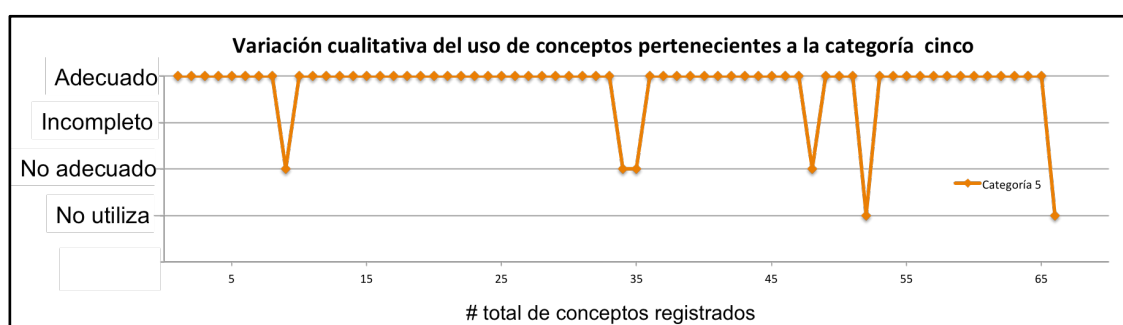


Gráfico 6.37. Valoración cualitativa del uso de conceptos pertenecientes a la categoría 5 Carlos

Para finalizar el apartado, en el gráfico 6.38, presentamos los resultados finales que ha obtenido Carlos, sobre las respuestas dadas a los 20 problemas propuestos.

Carlos realizó un intento fallido en la resolución del problema número 20, el de mayor grado de dificultad dada la complejidad del enunciado y el contenido total de conceptos químicos involucrados. Obtuvo soluciones calificadas como ‘adecuadas’ en 13 problemas, ‘incompletas’ en 3, ‘no adecuadas’ en 4.

Los resultados muestran los siguientes aspectos sobre el uso de la notación química: según los conceptos referidos a la categoría uno, la notación fue problemática para la representación de varios símbolos químicos con poca apropiación de las recomendaciones dadas durante el proceso de instrucción. Para los conceptos referidos a la categoría dos se puede evidenciar que fueron los que aportan los mejores resultados durante todo el proyecto.

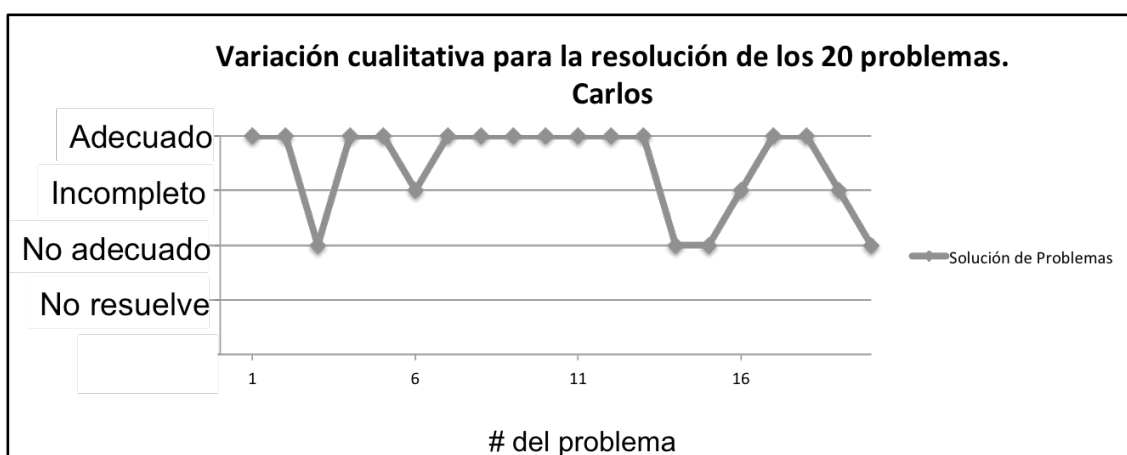


Gráfico 6.38. Valoración cualitativa para la resolución de los 20 problemas Carlos.

La categoría tres es la más problemática para Carlos, la omisión de la representación de pares de electrones libres no pudo ser superada; en unas contadas ocasiones la realizó sin problemas, pero no fue consecuente al asumir la importancia que reconoce verbalmente en ella. Para los conceptos de la categoría cuatro se cumple un comportamiento de altibajos, al llegar a los problemas más complicados la notación química se ve ligeramente mejorada sin llegar a ser óptima.

Tabla 6.21. Dominio del uso del lenguaje químico alcanzado por Carlos

Categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico			
Excelente 4 puntos		Bueno 3 puntos	
Regular 2 puntos		Deficiente 1 punto	
Categorías	Descripción		Puntuación
Uso básico de símbolos	<i>Capacidad de apropiación oral básica de los símbolos.</i> - Dispone de un vocabulario de palabras y es capaz de mencionarlas en conversaciones y expresarlas en oraciones.		3
	- Es capaz de referenciar términos químicos en las entrevistas.		3
Interpretar	<i>Capacidad de leer e interpretar los símbolos.</i> - Es capaz de identificar representaciones moleculares incompletas o erróneas.		3
	- Es capaz de conectar palabras en frases con contenido de lenguaje natural y lenguaje químico.		4
	- Es capaz de inferir información gráfica proveniente de representaciones estructurales.		3

Representar	<i>Capacidad de representar los símbolos.</i>	2
	- Es capaz de dibujar adecuadamente estructuras químicas.	3
	- Es capaz de utilizar diferentes tipos de representaciones moleculares.	3
Comunicar	<i>Capacidad de compartir y socializar información.</i>	2
	- Es capaz de persuadir opiniones del profesor y compañeros durante el diálogo.	2
	- Es capaz de describir procedimientos en la resolución de problemas.	2
	- Es capaz de dar explicaciones y razonamientos durante la puesta en común de la resolución de problemas.	2
	CALIFICACIÓN TOTAL	29 puntos
Nivel 1: 1 a 11 puntos; Nivel 2: 12 a 22 puntos Nivel 3: 23 a 33 puntos; Nivel 4: 34 a 44 puntos		NIVEL ALCANZADO
		TRES

En conclusión, en el caso de Carlos no se evidenció un cambio significativo durante la resolución de los problemas, su comportamiento desde el principio muestra ser muy lineal, se puede decir que a medida que aumenta el grado de dificultad de los problemas, la notación química aumenta levemente de calidad, para conceptos incluidos en las categorías dos y cuatro, mientras que los de la categoría uno, no sufren alteración y los de la categoría tres con tendencia a desmejorar. Una vez descrito y analizado el desempeño de Carlos durante el desarrollo de las actividades llevadas a cabo en el proceso de enseñanza, se le calificó el dominio del uso en el lenguaje químico alcanzado (tabla 6.21), evidenciado a través de las respuestas a los problemas y las entrevistas que se le realizaron.

6.8 Similitud y comparación de enunciados de problemas

En el presente apartado se pretende encontrar y describir las preferencias que cada uno de los participantes tiene sobre el tipo de enunciados de los problemas. Para ello, se presentan distintos enunciados, variando la información que se proporciona, ya sea textual, estructural, indicando cargas eléctricas o electrones libres y con más o menos representaciones espaciales. Se trata de averiguar el grado de comodidad o dificultad que presenta para cada estudiante el proceso de resolución. Los problemas se presentan en orden respecto a su grado de dificultad.

Similitud A

La pareja de problemas 1 y 2 han sido propuestos para evaluar las diferencias existentes en el proceso de resolución y en las respuestas que dan los estudiantes, cuando uno de los enunciados contiene información explícita acerca de los pares de electrones libres y las cargas eléctricas en los reactivos y el otro carece de ellos.

Problema 1

Descripción: solicita representar el mecanismo general de la reacción de adición nucleofílica al grupo carbonilo, omitiendo en el enunciado la representación de pares de electrones libres y cargas eléctricas, mostrando explícitamente la estructura molecular del primero de los reactivos, mientras se deja de forma general el segundo reactivo.

Problema 2

Descripción: solicita representar el mecanismo general de la reacción de adición nucleofílica, haciendo explícito en el enunciado la información sobre la formación de un anión intermedio y mostrando los pares de electrones libres y las cargas eléctricas en los reactivos.

Después de la resolución de ambos problemas se pide a los estudiantes contestar a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Qué diferencias encuentras entre los dos enunciados de los ejercicios?

Respuesta Dani: “En el ejercicio 2 se aclaraba que el resultado sería su anión y además se mostraba el carácter iónico de Nu en la reacción y también sus electrones no enlazados”.

Respuesta Cata: “La notación del nucleófilo”

Respuesta Lina: “La palabra anión”.

Respuesta Alejo: “La diferencia entre los dos enunciados es que en uno el nucleófilo tiene un par de electrones libres, y además tiene una carga negativa, mostrando que probablemente el anión proviene de alguna especie química, ya sea un ácido o una base”.

Respuesta Niko: “La única diferencia es que el nucleófilo en este ejercicio está cargado”

Respuesta Carlos: “los pares de electrones en las moléculas.”

Las respuestas indican que la atención a la información de cada enunciado ofrece lecturas con orientaciones diferentes, lo cual no es extraño. Dani y Lina identifican la

naturaleza iónica del producto, mientras que Cata y Alejo enfocan su atención en el carácter iónico del nucleófilo.

Al preguntar a Alejo sobre la característica del intermedio de reacción, indica que “el intermedio es el mismo para los dos (problemas), lo que es diferente es el nucleófilo”. Es decir, que la diferencia en la información del enunciado le permite diferenciar las características en el reactivo. El profesor pregunta “¿cuál nucleófilo es más fuerte?”, y Alejo responde “considero que el del problema 2 que se le ven los electrones”; su respuesta permite inferir que la fortaleza depende de los electrones a pesar de que se trata de un nucleófilo genérico en ambos casos. En consecuencia, el concepto no es aún significativo.

Niko y Carlos fijan su atención en la carga del nucleófilo y los electrones libres respectivamente, Carlos se confunde cuando se pregunta si de los electrones libres proviene la carga, el responde que sí, indicando que en estos momentos no identifica que pueden existir nucleófilos neutros. Para la misma pregunta, Niko indica que todos los nucleófilos tienen al menos dos electrones libres.

2) ¿Alguno de los dos enunciados facilita la resolución del problema o te parecen de igual dificultad?

Respuesta Dani: “En el problema 2 se especifican los electrones y el carácter aniónico de Un, por lo tanto, esto facilita la deducción de a donde correrían los electrones en la reacción de adición”.

Respuesta Cata: “Uno es más explícito que el otro”

Respuesta Lina: “El segundo enunciado (problema 2) facilita la resolución del problema, la palabra anión da luces de lo que se debe obtener. La representación de la ecuación química facilita la resolución del problema.”

Respuesta Alejo: “El hecho que uno observe cargas y electrones (representados por puntos) ayuda a dar la idea de cómo debe ser la dirección del ejercicio. Sin embargo, debo decir que la dificultad fue la misma.”

Respuesta Niko: “El hecho de que esté cargado (el nucleófilo) facilita saber con certeza que el nucleófilo ataca al carbonilo.”

Respuesta Carlos: “Para el caso genérico son de igual dificultad”

Cinco de los seis estudiantes coinciden en que el enunciado del problema 2 favorece la resolución; las palabras “especifican”, “explícito”, “da luces” y “dar la

idea”, coinciden en su preferencia. Solo Carlos indica que ambos enunciados son de igual dificultad.

- 3) ¿Cuál crees que es tu mayor dificultad para resolver el problema, aunque lo consideres un problema fácil?

Respuesta Dani: “El enunciado me parece que es clave en la dificultad, ya que según como se escriba se entenderá lo que el profesor quiere que responda exactamente; si no se entiende el enunciado pondría en duda el resultado más obvio”.

Respuesta Cata: “Confusión con el papel del nucleófilo, y que al final se formen dos átomos con carga igual”. En la entrevista menciona que “duda si el nucleófilo posee carga positiva o negativa”.

Respuesta Lina: “Tener claro los conceptos, y la interpretación del enunciado”.

Respuesta Alejo: “Creo que la mayor dificultad a la hora de resolver el problema es que al final no sé si lo que he respondido es lo que se espera, ya que no se especificó si se debía o no llegar a un producto final o si bien organizar la molécula”.

Respuesta Niko: “Aunque en este caso no es difícil, lo más complicado es saber qué tipo de reacción sufren las especies”

Respuesta Carlos: “No hay ningún problema, pero supongo que el “pushing” sería lo que más dificultad podría presentar”.

Las respuestas indican que la presencia o ausencia en la información contenida en el enunciado es un factor que influye en su resolución. Las diferencias son inmediatamente identificables y utilizadas por los estudiantes. Dibujar adecuadamente una carga eléctrica, escribir en el texto la palabra anión y asignar los pares de electrones libres dan un cambio a cómo los estudiantes se ven enfrentados a la resolución de ambos problemas. Particularmente cinco estudiantes dan una respuesta adecuada para los dos problemas mientras que Lina los resuelve inadecuadamente (ver Anexo D).

Similitud B

La pareja de problemas 3 y 4 han sido propuestos para evaluar diferencias en su interpretación y resolución, con respecto a la *información estructural* contenida en el enunciado.

Problema 3

Descripción: se presenta un enunciado corto, carente de fórmulas químicas estructurales.

Problema 4

Descripción: se presenta el mismo enunciado que el del problema 3, pero dando la representación química de los dos reactivos; en el primer reactivo se indica su fórmula química molecular sin la representación de los pares de electrones libres y, en el segundo reactivo, se muestra la separación de anión y catión, el par de electrones libres y sus respectivas cargas eléctricas.

Después de resolver ambos problemas se formula las siguientes preguntas a los estudiantes:

1) ¿Qué diferencias encuentras entre los dos enunciados de los ejercicios?

Respuesta Dani: “La diferencia entre ambos es que el problema 3 exige que se haga el proceso a partir de los nombres y el problema 4 propone completar la reacción”.

Respuesta Cata: “Se muestran los reactivos en el segundo”.

Respuesta Lina: “En el enunciado del problema 4 dan el compuesto y la representación de los reactivos”.

Respuesta Alejo: “La diferencia entre los dos ejercicios está en el hecho que es mucho más fácil poder determinar el producto final, si tienes conocimiento de los reactivos, ya que sin estos no se ve tan claro cuál es el producto final de la reacción”.

Respuesta Niko: “Uno tiene el ácido como un compuesto iónico, mostrando las cargas y el otro no lo presenta así”.

Respuesta Carlos: “La especificidad solicitada”

2) ¿Alguno de los dos enunciados facilita la resolución del problema o te parecen de igual dificultad?

Respuesta Dani: “Si se saben los nombres, en teoría es de igual dificultad, pero los dibujos siempre ayudan, porque pueden dar pistas (iones)”.

Respuesta Cata: “Sí, el segundo (problema 4)”.

Respuesta Lina: “El enunciado del problema 4 facilita su resolución”.

Respuesta Alejo: “La dificultad es la misma, la solución del problema es más visible si hay la posibilidad de conocer los reactivos o los productos”.

Respuesta Niko: “Yo que conozco el tema y sé cómo funciona la reacción (en el papel) me parecen iguales”

Respuesta Carlos: “Parecen de igual dificultad”

Cuatro estudiantes muestran preferencia por el enunciado del problema 2, sin embargo, el enunciado del problema 1 demanda un esfuerzo adicional puesto que se requiere dibujar las estructuras de ambos reactivos.

3) ¿Cuál crees que es tu mayor dificultad para resolver el problema, aunque lo consideres un problema fácil?

Respuesta Dani: “Los dibujos del problema 4 facilitan enormemente lo que se debe hacer, así que la dificultad estaría en el enunciado y cómo se plantea el problema”.

Respuesta Cata: “Saber si ataca primero al hidrógeno o si el ion Cianuro es quien ataca primero”

Respuesta Lina: no escribe respuesta

Respuesta Alejo: “Mi mayor dificultad para resolver el problema 3 fue por el hecho de que no tenía información de los reactivos o el producto final. Así que me generó dificultad por falta de información”.

Respuesta Niko: “No hay realmente algo en este problema que me dé dificultad”

Respuesta Carlos: “La elección o necesidad de activación del carbonilo”

Para todos los casos, la presencia de las fórmulas químicas estructurales es considerada una ventaja a la hora de proceder a la resolución del problema, situación que ha sido corroborada en otras actividades. Esto permite asimilar correctamente la información del enunciado, además de que los alumnos consideran que se “ahorra” tiempo. Traducir a partir del texto las estructuras es una operación que demanda esfuerzo cognitivo, propio del lenguaje químico de una relación dual, significativa y significado; si la estructura no es bien traducida al lenguaje estructural, la resolución del problema puede ser todo un fracaso.

Similitud C

La triada de problemas 7, 8 y 9 han sido propuestos para evaluar diferencias en la *información estructural* contenida en el enunciado. Los tres problemas presentan la misma información en el texto y todos son resueltos en pareja.

Problema 7

Descripción: la información en el enunciado, además del texto introductorio (igual en los tres problemas), contiene las fórmulas de composición de los dos reactivos participantes, el segundo es un reactivo genérico denominado como electrófilo.

Problema 8

Descripción: la información en el enunciado contiene, además del texto introductorio, la fórmula estructural del primer reactivo que se combina con un segundo reactivo genérico, denominado como electrófilo.

Problema 9

Descripción: la información en el enunciado, además del texto introductorio, contiene las fórmulas estructurales de ambos reactivos y las condiciones de mezclado para la reacción, siendo el segundo reactivo un electrófilo específico (la Propanona).

Después de responder a los tres problemas, los cuatro estudiantes de los Casos contestaron a la siguiente pregunta:

- 1) ¿Qué enunciado prefieres para dar una interpretación y respuesta al problema? Explica tus razones.

Respuesta Cata y Lina: “Preferimos el enunciado del problema 8 ya que, es más clara la representación estructural, lo cual facilita la interpretación del problema y su posterior solución”.

Respuesta Dani y Alejo: “De los tres enunciados, los dos últimos muestran las estructuras, lo cual amplía la visión para resolverlo ya que con conocimientos previos de las moléculas y características de los átomos se puede deducir más fácil. Una de las razones más efectivas para resolver el problema de reducción con el boro hidruro de sodio es el hecho de poder ver la estructura de la molécula como tal, ya que facilita la dirección hacia cómo resolver el ejercicio debido a que una visión de la molécula como un todo permite realizar un análisis de qué parte de la misma está actuando como electrófilo y ayuda a ver la selectividad del boro hidruro”.

Respuesta Niko: El estudiante resuelve individualmente los tres problemas y responde “si voy a pintar el mecanismo, prefiero el tercero, ya que me da cuenta de la disposición de las moléculas y además se puede apreciar la especie que se va a atacar pues los hidruros no pueden atacar todo tipo de centro electrofilico y tampoco con la misma selectividad. Ahora bien, si sólo me pidieran predecir el producto, y asumiendo que E^+ es un buen electrófilo para ese hidruro, preferiría el primer enunciado pues es más sencillo y conciso”

Respuesta Carlos: “El segundo, pues es general y presenta la estructura del Borohidruro desde la cual se puede mostrar de donde viene y hacia donde van los electrones”

Particularmente Cata y Lina no dan una respuesta adecuada a ninguno de los tres problemas, la interpretación conceptual del Tetraborohidruro de Sodio es la causa del fracaso y trasciende más allá de la inadecuada representación de la fórmula estructural; en el problema 7, el significado atribuido a la valencia química del Boro al intentar formar cinco enlaces fundamenta el fracaso.

Aportaciones de la entrevista después de resolver los problemas 7, 8 y 9:

Profesor: “veo que tienen dificultades sobre la solución a los problemas; ¿qué opinan ustedes?”

Cata: “es que todos son (problemas) muy parecidos! Y por eso nos dio lo mismo”

Lina “Yo no he podido entender esa reacción”

Profesor: “¿por qué prefieren el problema 8?”.

Cata: “Cuando se nos da las estructuras todo es más fácil, pero el problema 9 tiene una estructura que es más difícil de poner a reaccionar”

Profesor: ¿La Propanona?

Cata: “Sí”

La entrevista indica que la facilidad va de la mano de la comodidad; cuando se compara la estructura del electrófilo genérico E^+ y la de la Propanona, la segunda debe sufrir una deslocalización para poder actuar como electrófilo. Esta etapa adicional a representar en el mecanismo lo condiciona como de mayor dificultad, en palabra de los estudiantes.

Para Dani y Alejo, quienes responden adecuadamente los problemas 7 y 8 e incompletamente el 9, prefieren los dos enunciados con mayor información estructural (problemas 8 y 9) y, además, si en la información se presentan fórmulas químicas de composición o fórmulas químicas estructurales, son preferidas estas últimas. Esto es coherente con lo discutido en la similitud B, los estudiantes prefieren la información que se presenta de forma más concreta.

Respuesta Niko: “si voy a pintar el mecanismo, el tercero ya que me da cuenta de la disposición de las moléculas y además se puede apreciar la especie que se va a atacar pues los hidruros no pueden atacar todo tipo de centro electrofilico y tampoco con la misma selectividad. Ahora, si sólo me pidieran predecir el producto, y asumiendo que E^+ es un buen electrófilo para ese hidruro, preferiría el primer enunciado pues es más sencillo y conciso”

Respuesta Carlos: “prefiero el enunciado del problema 9 muestra los reactivos como son lo que permite completar fácilmente la reacción”

Similitud D

Se propone evaluar diferencias cuando la información contenida en el enunciado incluye una gran cantidad de conceptos (problema 10) o se trata de un texto corto (problema 11):

Problema 10

Descripción: el enunciado presenta una gran cantidad de conceptos químicos, se muestra la fórmula de composición del reactivo principal dejando la representación del segundo reactivo a elección del estudiante.

Problema 11

Descripción: el enunciado es corto y bajo en el uso de conceptos. En este caso se representan explícitamente los dos reactivos.

Aportaciones de las entrevistas después de las respuestas a los problemas 10 y 11:

Profesor: ¿Se han dado cuenta de lo que hemos avanzado en las últimas actividades?

Cata: A mí me fue muy bien en el parcial; Dani: a mí también; Alejo: yo quería sacar más; Lina: guarda silencio.

Profesor: ¿Qué me pueden decir de la actividad del pasado jueves?

Dani: me pareció fácil; Alejo: yo casi no me acuerdo de la piridina; Cata: no profe es que usted pone unos problemas muy rebuscados, si uno no sabe la piridina se queda pegado.

Profesor: ¿Qué opinas Lina?

Lina: Yo no pude terminar bien el segundo, pensé que la base era hidróxido de litio, era un nucleófilo.

Profesor: Muy bien, pero lo importante es que todos hicieron un esfuerzo e intentaron solucionar los problemas; vamos avanzando de modo gradual. ¿Qué me dicen de los enunciados?, ¿cuál es mejor para resolver el problema?

Cata: A mí me gustó el primero (problema 10), además, si me ponen la estructura de la piridina estaría perfecto, en eso me “pegué” al principio.

Alejo: También el primero (problema 10), pues todo lo que decía me daba la guía para llegar al producto.

Lina: A mí también me gusto el primero.

Dani: Sí el primero, decía todo lo que uno necesita para resolverlo, yo misma lo hice.

Alejo: En el segundo (problema 11) me gustó que dieran la base.

Dani: Sí eso era lo mejor.

Cata: Yo en ese me volví a equivocar.

Lina: yo tampoco pude.

La preferencia por los enunciados con alta información predomina. El único punto a favor que tuvo el enunciado corto fue la presentación de la estructura del Hidróxido de Litio, sin embargo, este enunciado no fue criticado. Se critica el enunciado largo por carecer de la fórmula estructural de la piridina, pese a estar explícito que ella se comporta como una base. Esto lleva a pensar que el contenido del texto parece no incomodar las aspiraciones del proceso de resolución del problema, mientras que la ausencia de información estructural detona un conjunto de reproches.

Para Niko, la respuesta continúa siendo la misma “el enunciado corto es mejor”. Él prefiere el enunciado corto para el problema 11 y, da lugar a algo interesante, Niko respondió correctamente al problema 10 (enunciado largo) y, posteriormente, no resuelve de modo adecuado el problema 11; en su explicación menciona que no le fue posible identificar el grupo saliente de la reacción reversible, a pesar de la dicotomía de resolver bien el problema largo presentado en primer lugar e inadecuadamente al problema corto presentado después. Aun así continúa prefiriendo los enunciados cortos y da a entender que la información visual de las estructuras moleculares presentes en el enunciado son suficientes para proceder a la resolución. Esto indica que prefiere la información estructural sobre la información textual y no un híbrido de las dos, como podría esperarse.

Carlos menciona que ambos problemas son similares y que no tendría inconvenientes con elegir cualquiera de los dos, pero después de insistir en que debe seleccionar alguno, se inclina por el enunciado corto del problema 11, argumentando que en un examen prefiere los de enunciado breve pues el proceso de resolución le demandaría menos tiempo, lo cual es valioso ya que podría dedicar más tiempo a otros problemas del examen.

Similitud E

Se trata de evaluar las diferencias existentes en la resolución de problemas cuando existen diferencias en la información que se proporciona en el enunciado, por ejemplo,

cuando el enunciado es corto (problema 12) o cuando se describe el proceso de reacción utilizando muchos conceptos.

Problema 12

Descripción: el enunciado solo menciona tres conceptos químicos generales, y aporta la fórmula estructural del producto de reacción.

Problema 13

Descripción: el enunciado consta de una descripción del proceso utilizando muchos conceptos químicos y se presenta la fórmula estructural del producto de la reacción.

Después de resolver los problemas 12 y 13, se pide a los estudiantes que contesten a las siguientes preguntas:

- 1) Según tu experiencia ¿consideras que los ejercicios que poseen enunciados más largos ayudan o dificultan la resolución del problema?

Respuesta Dani: “En algunos casos simplifican la solución del problema porque, como en estos dos problemas 12 y 13, se dan pistas de cómo sería el mecanismo, es decir, en qué orden y qué se forman.”

Respuesta Cata: “Pueden ser de bastante ayuda, nos dan una idea más clara de la manera en que debemos plantear la solución del problema”.

Respuesta Lina: “Sí puede ayudar, puede encontrarse pistas o caminos para iniciar o abordar el problema”.

Respuesta Alejo: “Considero que los enunciados con textos largos ayudan a solucionar el problema, ya que puede llegar a ser una guía en el momento de aplicar los conceptos estudiados”.

Respuesta Niko: “Prefiero los enunciados cortos, los largos pueden enredar un poco, lo que favorece que uno dude, se pierde mucho tiempo leyendo mientras que en los cortos se puede trabajar de una vez”

Respuesta Niko: “Me gusta el enunciado largo la información que trae es muy buena e indica qué hacer”.

Los primeros cuatro estudiantes y el último prefieren los enunciados de problemas con alto contenido de términos propios del lenguaje químico, especialmente cuando estos presentan una misma información de fórmulas estructurales de reactivos o

productos, consideran que estos les sirven de ayuda, de guía u orientación para iniciar el camino hacia una respuesta adecuada. Niko, en definitiva, no se siente a gusto con los enunciados extensos, aunque contienen una amplia información en términos químicos.

Alejo, Niko y Carlos, resuelven los dos problemas con éxito, Dani resuelve bien el problema 13 e inadecuadamente el 12, Lina da una solución incompleta al problema 13 e inadecuada al 12, y Cata resuelve ambos inadecuadamente. Es decir, a pesar de que un enunciado tenga más información, como el de los problemas 13 o 10, que es la que tradicionalmente se suele dar, también puede presentar dificultades en algunos estudiantes para responderlos correctamente. En consecuencia, tener preferencia por un tipo de enunciado, no significa que se resuelva adecuadamente en todos los casos.

Similitud F

La pareja de problemas 14 y 15 han sido propuestos para evaluar diferencias en la información contenida en el enunciado, el 14 está muy nutrido de conceptos, mientras que el 15 consta de una frase corta.

Problema 14

Descripción: El problema presenta un enunciado con mucha información y un alto contenido de conceptos químicos. Además, la estructura del primer reactivo se muestra como una fórmula estructural, indicándose los pares de electrones libres sobre los oxígenos carbonílicos y dejando al nitrógeno del grupo amino sin estos, con la pretensión de evidenciar si estos serán representados puesto que son claves para la resolución del problema.

Problema 15

Descripción: el problema se presenta con una frase, donde sólo se expresa completar la reacción, acompañada de las fórmulas estructurales de los reactivos, indicando las cargas eléctricas y los pares de electrones libres.

Después de resolver los problemas 14 y 15 se pide a los estudiantes que contesten a las siguientes preguntas:

1) ¿Cuál de los enunciados de los problemas 14 y 15 prefieres?

Respuesta Dani: “El problema 15 es simple y se puede interpretar de muchas formas; el problema 14, es mucho más específico y lo prefiero porque a medida que leo y resuelvo el problema, me doy cuenta si está bien o no. Claro que a veces es confuso si uno no tiene buenas bases estudiadas”.

Respuesta Cata: “Prefiero el problema 14 ya que nos da una ruta para llegar al resultado, es decir, nos asegura el camino para la solución”.

Respuesta Lina: “El 14 ayuda más”.

Respuesta Alejo: “Prefiero el problema 14, ya que nos enfoca en un principio en los conceptos necesarios para resolver el ejercicio”.

Respuesta de Niko: “el problema 15, por su enunciado más corto”

Respuesta de Carlos: “Prefiero el enunciado corto”

Aportaciones de la entrevista realizada a Carlos:

Profesor: en la semana anterior mencionas que preferías un enunciado largo y ahora corto, ¿A qué se debe esta diferencia?

Carlos: Es que en los otros problemas lo que decían era muy útil, y ahora el texto es muy largo, y uno se demora mucho leyendo e intentando entender lo que dice.

La preferencia en enunciados largos, que contienen gran cantidad de conceptos químicos, está acompañada de la premisa de que los textos valen por la información que contienen. Sin embargo, critican los textos largos carentes de significados que aporten información relevante, lo que Cata llamó alguna vez “texto histórico”.

Para el caso de Niko ocurrió de nuevo algo particular, resuelve inadecuadamente el problema 14 y adecuadamente el 15. Durante la entrevista se le cuestionó acerca de que el enunciado del problema 14 contenía muchas pistas para lograr la solución, sin embargo, él reconoce que realizó una lectura rápida sin detenerse en la información y que solo fijó su atención en la influencia estérica del grupo amino sobre el carbonilo de abajo. Después de insistir en la importancia de una lectura crítica y detenida, menciona que un texto excesivo es abrumador para leer y que continúa prefiriendo enunciados cortos. Finalmente, el investigador toma la decisión de leer el texto con él, para intentar convencerlo, a lo cual Niko aprueba que la información contenida es de calidad para el problema e insiste que aún así, prefiere el más corto.

Nunca fueron criticados los textos cortos si están acompañados de fórmulas estructurales. Cuando se presentan estos textos, se procede a realizar la resolución de igual forma, pero cuando los objetivos de dos problemas son los mismos, los cuatro estudiantes de los Casos prefieren los enunciados que aportan más información relevante.

Para responder a la pregunta, ¿qué es más favorable para el estudiante, un problema enunciado con muchos conceptos químicos y relaciones entre estos o un enunciado expresado con pocos conceptos y escasa información?, podemos decir que para Dani solo una pequeña pista (la resolución de los problemas 12 y 13) le ha permitido inferir que los enunciados extensos han mejorado su desempeño, dado que sus habilidades y dominio de conceptos le han permitido responder adecuadamente 14 de los 20 problemas de la intervención.

En el Caso de Cata, aunque es bajo su rendimiento en la resolución de problemas (solo 4 con éxito de 20), los enunciados con más información le permitieron mejorar la respuesta, hecho que se ve reflejado en la resolución de los problemas 3 y 4, 14 15 y 16.

De Lina tenemos pocos registros debido a que resolvió adecuadamente solo tres de los 20 problemas, ella se ve altamente favorecida con los enunciados de gran contenido conceptual, su habilidad para leer la información y relacionarla le permiten dar la solución a los problemas con éxito, particularmente para los problemas 10 y 11 que son presentados en el orden opuesto de número de conceptos, el problema 10, rico en información, lo resuelve satisfactoriamente mientras que el problema 11 no; lo que llama la atención es que la experiencia después de resolver el problema 10, no incide en el siguiente.

Para Alejo, quien resuelve exitosamente 13 de 20 problemas, se debe decir que también es favorecido con los enunciados que contienen mucha información y relaciones, su capacidad para extraer los datos significativos y su técnica de representación son factores positivos en su desempeño.

Con Niko es difícil hacer una aseveración puesto que resuelve bien e incompletamente problemas de enunciados cortos y largos, lo que sospecha es que parece que todos los problemas, a excepción del 20, fueron considerados para él enunciados cortos, dependía netamente de la información estructural.

Por último, Carlos se ve levemente favorecido por los enunciados largos a pesar de que en algunas circunstancias menciona que prefiere los enunciados cortos, con la única justificación que estos últimos ahorran tiempo en el momento de un examen. En conclusión, los problemas de mayor grado de dificultad (por ejemplo 14 y 15), a pesar de que fueron resueltos inadecuadamente por Carlos, el problema 14 mostró un alcance mayor; al final se hace necesario implementar otra serie de problemas y similitudes para poder dar una respuesta contundente en este caso.

6.9 Análisis de mapas conceptuales durante la resolución de problemas de reactividad química

En la implementación de la teoría del Aprendizaje Significativo en el aula de clases son ampliamente utilizados los mapas conceptuales como instrumentos que permiten identificar la organización conceptual jerárquica de un cuerpo de conocimientos. Por lo tanto, estos mapas permiten obtener información sobre el tipo de relaciones conceptuales que cada estudiante establece respecto a los conceptos inherentes a las reacciones de adición nucleofílica, y de cómo cada uno estructura, relaciona, diferencia e integra nociones. Se convierte en una manera de exteriorizar sus conocimientos sin pretender que sea una representación precisa o completa, pero que debe reflejar una aproximación favorable. Además, es importante para identificar cómo cambia el lenguaje químico y su evolución a formas más adecuadas de representación.

Caso Dani

El mapa conceptual de la figura 6.67 fue elaborado por Dani justo después de terminar la discusión sobre compuestos organometálicos en clase, antes de proceder a la actividad de resolución de problemas, lo que puede permitir identificar los cambios en la comprensión de significados y su externalización a través de la representación, todo ello mediado por el lenguaje químico.

Descripción del mapa conceptual: Inicialmente se observa que la jerarquía conceptual no se conserva, los conceptos no son diferenciados de los ‘conectores’ y, en algunos casos, “reacción” se escribe varias veces, lo que puede dificultar la lectura. Es interesante reconocer la poca utilización de fórmulas químicas (solo en dos casos). Existe coherencia en el mapa, no se enfatiza en ejemplos concretos, sin embargo, se intenta establecer relaciones múltiples en dos casos, características de los mapas conceptuales mejor estructurados. En conclusión, el mapa conceptual corresponde a una lectura muy lineal sin jerarquía conceptual, pero con relaciones coherentes.

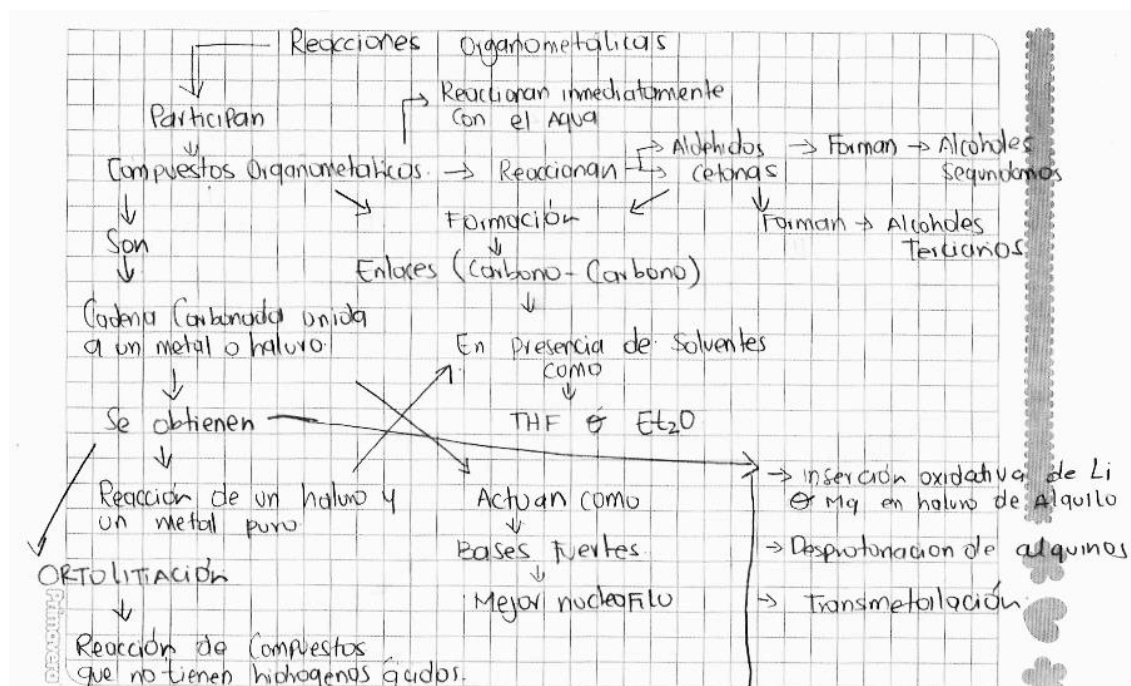


Figura 6.71. Mapa conceptual elaborado por Dani para la reactividad de compuestos organometálicos.

El mapa conceptual de la figura 6.71 fue elaborado después de terminar la discusión completa en las clases sobre las reacciones de adición nucleofílica y durante la actividad de resolución de problemas. Este mapa se preparó con la intención de servir como guía para la preparación de la prueba parcial y debía ser presentado al profesor con antelación para dar su aprobación, esto incentivó a todos los estudiantes a realizar un trabajo juicioso.

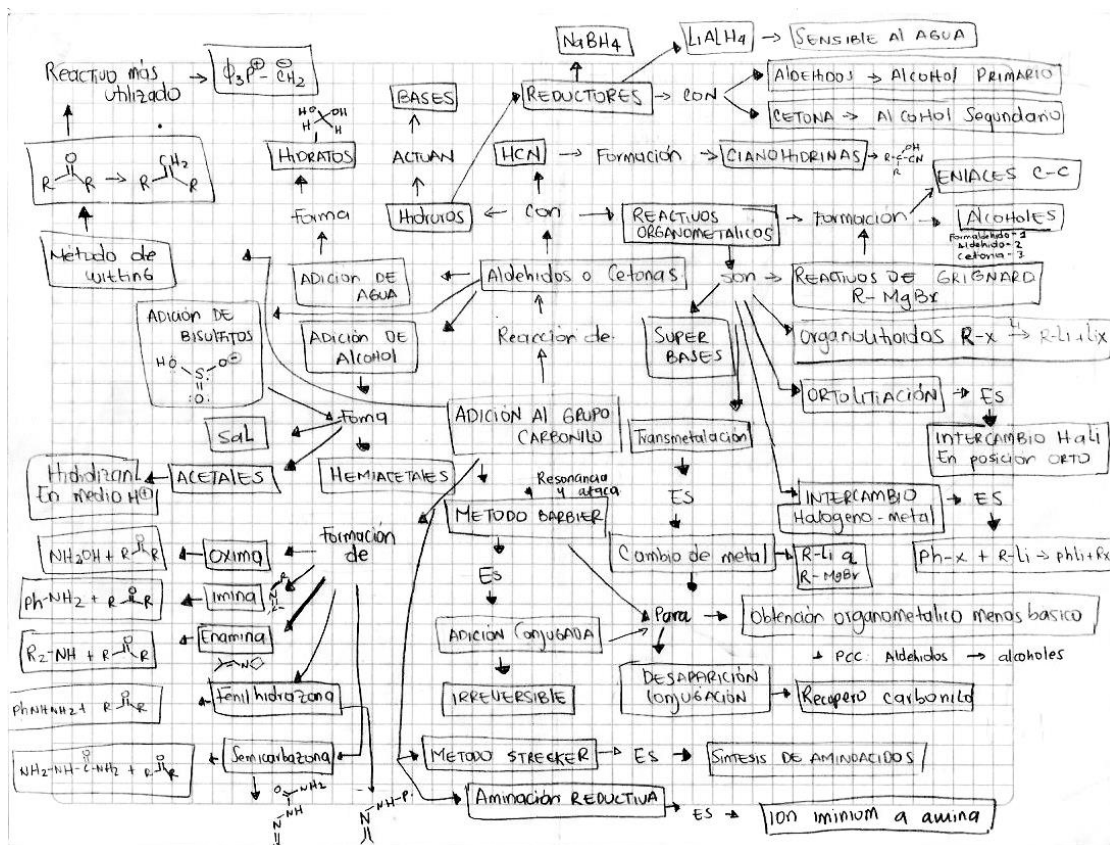


Figura 6.72. Mapa conceptual elaborado por Dani para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas.

Descripción (figura 6.72): el mapa conceptual presentado por Dani incluye todos los temas relacionados, por lo cual su grado de complejidad es mucho mayor. La evolución es significativa respecto al anterior (figura 6.71), ahora son resaltados los conceptos y situado el más general en el centro. El uso de ‘conectores’ mejora circunstancialmente y apenas hay omisiones. El orden se divide en cuatro grandes áreas y solo se rompe este orden con la reacción de Wittig ubicada en el extremo superior izquierdo. La coherencia en la lectura de los conceptos es buena y se llega a la representación de ejemplos específicos de cada mecanismo de reacción.

Respecto al lenguaje químico se observa una ganancia, no solo en el uso de palabras técnicas, sino también en las relaciones de significado entre ellas. Es interesante reconocer un detalle en el que se ha insistido, solo para la fórmula estructural del ion Bisulfito son representados los pares de electrones libres, mientras que para otras 16 estructuras son completamente olvidados, esto muestra que a pesar de los esfuerzos por impartir una conciencia semántica, en particular para este concepto,

hay una profunda ruptura entre la representación y el significado, significa que, se comprende pero no se hace un esfuerzo por la coherencia que conlleva la exteriorización de una notación que parece muy simple, pero es altamente significativa.

A continuación, se presenta en la tabla 6.22 las calificaciones obtenidas por Dani, en los distintos criterios valorados en los dos mapas conceptuales que realizó, según la rúbrica de la tabla 4.5 “Rúbrica para analizar el dominio de la comprensión conceptual”, descrita en el capítulo 4.

Tabla 6.22 Calificaciones obtenidas por Dani en los dos mapas conceptuales que elaboró

Criterios a evaluar	Muy bueno 4 puntos	Bueno 3 puntos	Suficiente 2 puntos	Insuficiente 1 punto	Mapa 1	Mapa 2
Concepto principal	El concepto principal es adecuado y pertinente con el tema.	El concepto principal es relevante dentro del tema.	El concepto principal pertenece al tema, pero no es el más adecuado.	El concepto principal no tiene relación con el tema.	3	4
Conceptos subordinados	Incluye todos los conceptos importantes que representa la información principal del tema. No repite conceptos	Incluye la mayoría de los conceptos importantes que representan la información principal del tema.	Faltan conceptos importantes que representan la información principal del tema. Repite algún concepto.	Incluye solo algunos de los conceptos importantes que representan la información principal del tema, faltan algunos significativos.	2	3
Palabras de enlace y proposiciones	La mayor parte de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema y representan la información principal.	Algunas de las proposiciones son invalidadas o no representan la información principal del tema.	Solo algunas de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema.	Presenta proposiciones inválidas de acuerdo al tema con enlaces que describen una relación inexistente, o afirmaciones falsas o vagas.	2	3
Relaciones cruzadas y Creatividad	El mapa conceptual integra relaciones relevantes creativas y novedosas.	El mapa conceptual muestra relaciones cruzadas adecuadas y pertinentes.	El mapa conceptual presenta relaciones cruzadas pero un tanto irrelevantes respecto de la información principal del tema.	No presenta relaciones cruzadas entre conceptos.	2	2
Jerarquía	Todos los conceptos están ordenados je-	Muchos de los conceptos están ordena-	Algunos de los conceptos no están ordenados	La mayoría de los conceptos no están ordenados	1	4

	jerárquicamente. (sin ser alguno de ellos un ejemplo)	dos jerárquicamente, (sin ser alguno de ellos un ejemplo).	jerárquicamente (alguno de ellos es ejemplo).	jerárquicamente (muchos de ellos son ejemplos).		
Estructura (complejidad estructural)	Elaboración global, coherente, precisa, diferenciada y de fácil interpretación	Elaboración global, clara, algo diferenciada y de aceptable interpretación.	Elaboración global, equilibrada, no diferenciada, y de regular interpretación.	Elaboración lineal, con secuencias de oraciones largas, o presenta una estructura desorganizada, simple, o difícil de interpretar.	1	3
Puntaje Total					11	19

Nivel de progresión en la elaboración de mapas conceptuales		
Nivel 1: 1 a 6 puntos; Nivel 2: 7 a 12 puntos. Nivel 3: 13 a 18 puntos; Nivel 4: 19 a 24 puntos		
CASO Dani	Para la reactividad de compuestos organometálicos	Para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas
Alcance	Nivel 2	Nivel 4

El resultado anterior indica que Dani presenta una evolución positiva para la elaboración de los mapas conceptuales, pasando del nivel 2 al nivel 4, en este momento de la intervención.

Caso Cata

Descripción del mapa conceptual (figura 6.73): El planteamiento general muestra un orden jerárquico de los conceptos, no son diferenciados explícitamente los conectores de los conceptos, usa frases en lugar de conceptos, situación muy común cuando se está en proceso de aprender a realizar mapas conceptuales. La lectura que se puede realizar del mapa es lineal y lleva en todos los casos a ejemplos representados con fórmulas químicas estructurales, ninguna de las fórmulas incluye la representación de los pares de electrones libres, sin embargo están bien representados las geometrías moleculares y los símbolos elementales. La coherencia presenta dos lecturas, hacia el lado izquierdo del mapa es mejor la coherencia y se acompaña de ejemplos incluyendo un par de ecuaciones químicas, mientras que, en el lado derecho se pierde el significado mezclando información, lo que desfavorece la diferenciación progresiva de conceptos y en ningún caso aparecen relaciones cruzadas de ideas.

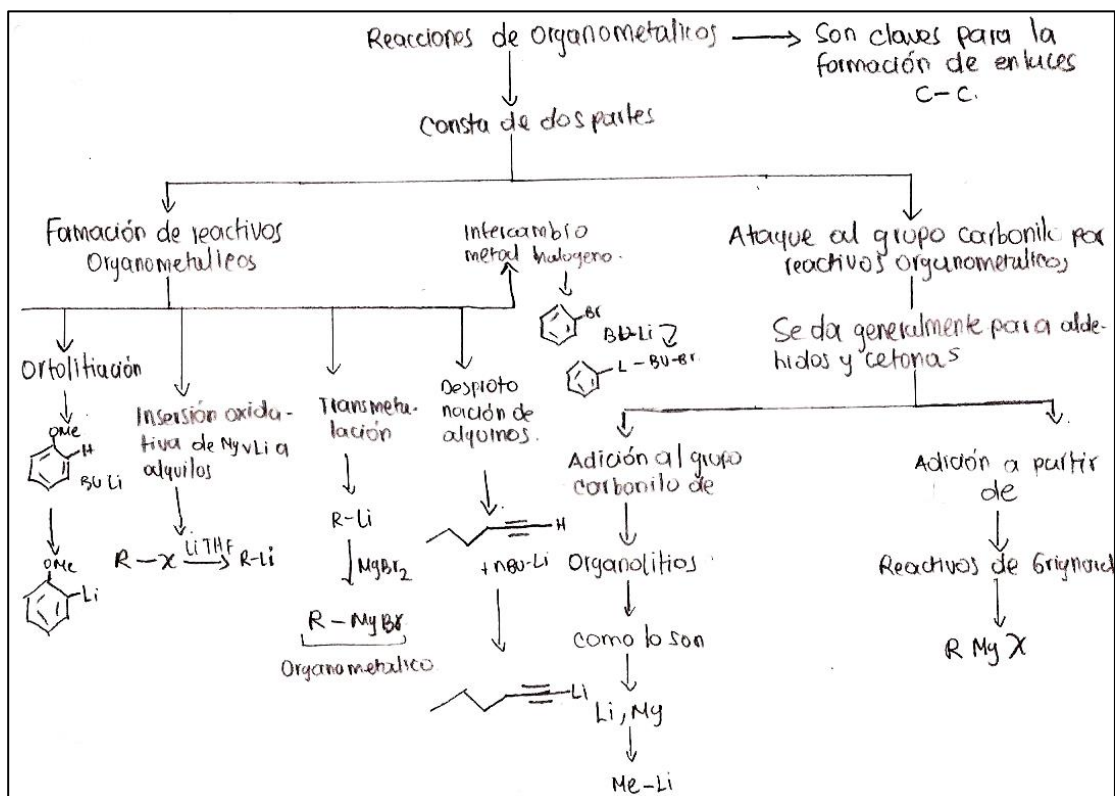


Figura 6.73. Mapa conceptual elaborado por Cata para la reactividad de compuestos organometálicos.

Descripción del mapa conceptual (figura 6.74): el nuevo mapa de Cata es presentado con una organización muy adecuada, conservando el orden jerárquico de conceptos. El avance en la representación es insuficiente, pues continúa con un planteamiento lineal en la lectura, donde son incluidas frases en lugar de conceptos relevantes, lo que evidencia una debilidad cuando se intenta establecer relaciones. Las frases ofrecen un significado muy puntual, por ejemplo “Oxígeno ataca al H^+ ” y luego “alcohol ataca grupo” y no dan la opción para construir conceptos más generales e inclusivos.

Las fórmulas químicas son ampliamente utilizadas como ejemplificación. No hay evolución en la notación química, particularmente, en la representación de pares de electrones libres, mientras que las cargas sobre iones aparecen con su notación. En conclusión, el mapa es una extensión más completa de la versión anterior, son pocos los puntos que mejoran la estructura completa a pesar de ser muy organizado y contener gran cantidad de información.

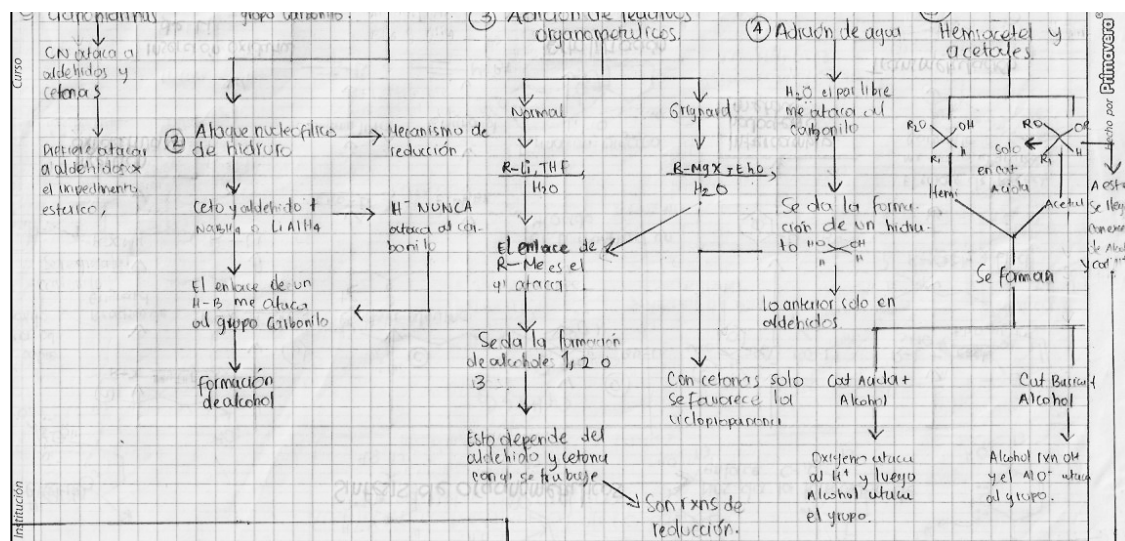


Figura 6.74. Mapa conceptual elaborado por Cata para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas.

A continuación, se presenta las calificaciones obtenidas por Cata, en los distintos criterios valorados en los dos mapas conceptuales que realizó, según la rúbrica descrita en el capítulo 4, utilizada para calificar los mapas conceptuales, atendiendo a las categorías:

Tabla 6.23 Calificaciones obtenidas por Cata en los dos mapas conceptuales que elaboró

Criterios a evaluar	Muy bueno 4 puntos	Bueno 3 puntos	Suficiente 2 puntos	Insuficiente 1 punto	Mapa 1	Mapa 2
Concepto principal	El concepto principal es adecuado y pertinente con el tema.	El concepto principal es relevante dentro del tema.	El concepto principal pertenece al tema, pero no es el más adecuado.	El concepto principal no tiene relación con el tema.	3	3
Conceptos subordinados	Incluye todos los conceptos importantes que representa la información principal del tema. No repite conceptos	Incluye la mayoría de los conceptos importantes que representan la información principal del tema.	Faltan conceptos importantes que representan la información principal del tema. Repite algún concepto.	Incluye solo algunos de los conceptos importantes que representan la información principal del tema, faltan algunos significativos.	3	3

Palabras de enlace y proposiciones	La mayor parte de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema y representan la información principal.	Algunas de las proposiciones son invalidadas o no representan la información principal del tema.	Solo algunas de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema.	Presenta proposiciones inválidas de acuerdo al tema con enlaces que describen una relación inexistente, o afirmaciones falsas o vagas.	2	2
Relaciones cruzadas y Creatividad	El mapa conceptual integra relaciones relevantes creativas y novedosas.	El mapa conceptual muestra relaciones cruzadas adecuadas y pertinentes.	El mapa conceptual presenta relaciones cruzadas pero un tanto irrelevantes respecto de la información principal del tema.	No presenta relaciones cruzadas entre conceptos.	1	1
Jerarquía	Todos los conceptos están ordenados jerárquicamente. (sin ser alguno de ellos un ejemplo)	Muchos de los conceptos están ordenados jerárquicamente, (sin ser alguno de ellos un ejemplo).	Algunos de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (alguno de ellos es ejemplo).	La mayoría de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (muchos de ellos son ejemplos).	3	4
Estructura (complejidad estructural)	Elaboración global, coherente, precisa, diferenciada y de fácil interpretación	Elaboración global, clara, algo diferenciada y de aceptable interpretación.	Elaboración global, equilibrada, no diferenciada, y de regular interpretación.	Elaboración lineal, con secuencias de oraciones largas, o presenta una estructura desorganizada, simple, o difícil de interpretar.	2	3
Puntaje Total					14	16

Nivel de progresión en la elaboración de mapas conceptuales		
Nivel 1: 1 a 6 puntos; Nivel 2: 7 a 12 puntos. Nivel 3: 13 a 18 puntos; Nivel 2: 19 a 24 puntos;		
CASO Cata	Para la reactividad de compuestos organometálicos	Para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas
Alcance	Nivel 3	Nivel 3

El resultado indica que Cata presenta poca evolución para la elaboración de los mapas conceptuales, continuando en el nivel 3, solo dos puntos marcan poca diferencia.

Caso Lina

Los mapas conceptuales elaborados por Lina se presentan a continuación en las figuras 6.75 y 6.76 y se describen seguidamente.

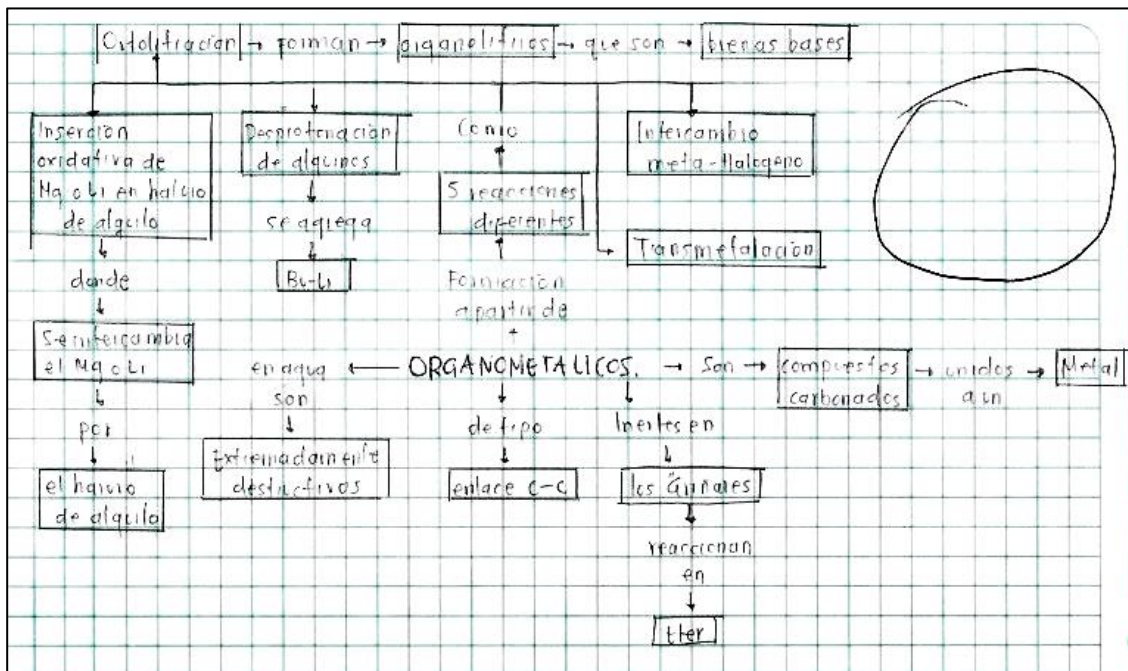


Figura 6.75. Mapa conceptual elaborado por Lina para la reactividad de compuestos organometálicos.

Descripción del mapa conceptual (figura 6.75): su estructura es de tipo telaraña donde el concepto más general se sitúa en el centro. Se ordena un planteamiento de lectura lineal donde no aparecen relaciones cruzadas de conceptos, las cuales son, en muchas ocasiones, pequeñas frases acordes para el tipo de lectura propuesto. Se utilizan ‘conectores’ en todos los casos. La coherencia es aceptable e indica las principales características y mecanismos de reacción; solo se utiliza en dos casos representaciones de fórmulas moleculares y para todos los otros se prefiere escribir los nombres de las sustancias que participan. En general, es un mapa conceptual aceptable, de lectura lineal y sin el uso de ejemplos.

Descripción del mapa conceptual (figura 6.76): de nuevo Lina representa el mapa de forma radial con el concepto más general en el centro. La lectura del mapa conceptual es ahora más estructurada, se aprecian relaciones cruzadas de conceptos y los más generales son diferenciados. Para casi todos los casos se usan ‘conectores’, sin embargo, es predominante una lectura lineal. Es evidente, el esfuerzo en la construcción y en el uso de muchos conceptos que fueron tratados en las discusiones de las clases.

Por último, destacar que es notable el uso de ejemplos utilizando fórmulas químicas, aunque en todos los casos fueron obviados los pares de electrones libres y en algunos de ellos las cargas eléctricas. En conclusión, Lina ha mejorado notablemente en la elaboración del mapa, especialmente la coherencia del mismo y el uso de conceptos y ejemplos. Se evidencia que tuvo en cuenta las recomendaciones que se le aportaron.

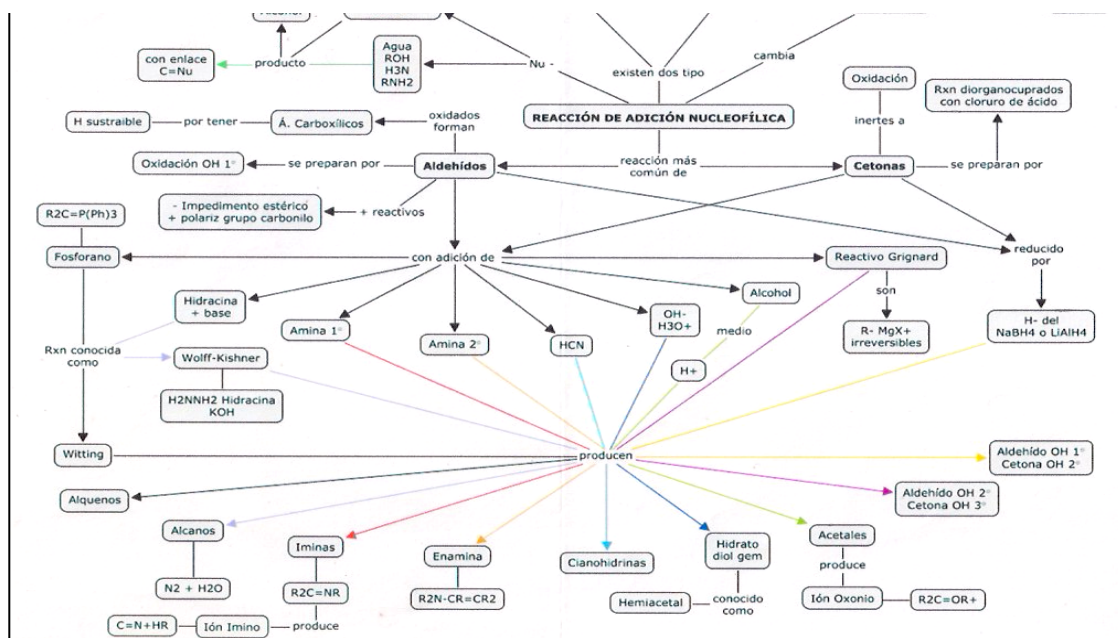


Figura 6.76. Mapa conceptual de Lina sobre las reacciones de adición nucleofílica de aldehídos y cetonas.

A continuación, se presenta en la tabla 6.24 las calificaciones obtenidas por Lina, en los distintos criterios valorados en los dos mapas conceptuales que realizó, según la rúbrica descrita en el capítulo 4. utilizada para calificar los mapas conceptuales, atendiendo a las categorías definidas.

Tabla 6.24 Calificaciones obtenidas por Lina en los dos mapas conceptuales que elaboró

Criterios a evaluar	Muy bueno 4 puntos	Bueno 3 puntos	Suficiente 2 puntos	Insuficiente 1 punto	Mapa 1	Mapa 2
Concepto principal	El concepto principal es adecuado y pertinente con el tema.	El concepto principal es relevante dentro del tema.	El concepto principal pertenece al tema, pero no es el más adecuado.	El concepto principal no tiene relación con el tema.	3	3

Conceptos subordinados	Incluye todos los conceptos importantes que representa la información principal del tema. No repite conceptos	Incluye la mayoría de los conceptos importantes que representan la información principal del tema.	Faltan conceptos importantes que representan la información principal del tema. Repite algún concepto.	Incluye solo algunos de los conceptos importantes que representan la información principal del tema, faltan algunos significativos.	3	3
Palabras de enlace y proposiciones	La mayor parte de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema y representan la información principal.	Algunas de las proposiciones son invalidadas o no representan la información principal del tema.	Solo algunas de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema.	Presenta proposiciones inválidas de acuerdo al tema con enlaces que describen una relación inexistente, o afirmaciones falsas o vagas.	2	3
Relaciones cruzadas y Creatividad	El mapa conceptual integra relaciones relevantes creativas y novedosas.	El mapa conceptual muestra relaciones cruzadas adecuadas y pertinentes.	El mapa conceptual presenta relaciones cruzadas, pero un tanto irrelevantes respecto de la información principal del tema.	No presenta relaciones cruzadas entre conceptos.	1	2
Jerarquía	Todos los conceptos están ordenados jerárquicamente. (sin ser alguno de ellos un ejemplo)	Muchos de los conceptos están ordenados jerárquicamente, (sin ser alguno de ellos un ejemplo).	Algunos de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (alguno de ellos es ejemplo).	La mayoría de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (muchos de ellos son ejemplos).	1	3
Estructura (complejidad estructural)	Elaboración global, coherente, precisa, diferenciada y de fácil interpretación	Elaboración global, clara, algo diferenciada y de aceptable interpretación.	Elaboración global, equilibrada, no diferenciada, y de regular interpretación.	Elaboración lineal, con secuencias de oraciones largas, o presenta una estructura desorganizada, simple, o difícil de interpretar.	1	2
PUNTAJE TOTAL					11	16

Nivel de progresión en la elaboración de mapas conceptuales		
Nivel 1: 1 a 6 puntos; Nivel 2: 7 a 12 puntos.		
Nivel 3: 13 a 18 puntos; Nivel 2: 19 a 24 puntos		
CASO Lina	Para la reactividad de compuestos organometálicos	Para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas
Alcance	Nivel 2	Nivel 3

El resultado anterior indica que Lina presenta una evolución positiva para la elaboración de los mapas conceptuales, del nivel 2 ha llegado al nivel 3 y muy cerca del cuatro, un avance con relación a los resultados que hasta este momento ha mostrado.

Caso Alejo

Los mapas realizados por Alejo se exponen en las figuras 6.67 y 6.68 y, seguidamente, se hace una descripción de los mismos.

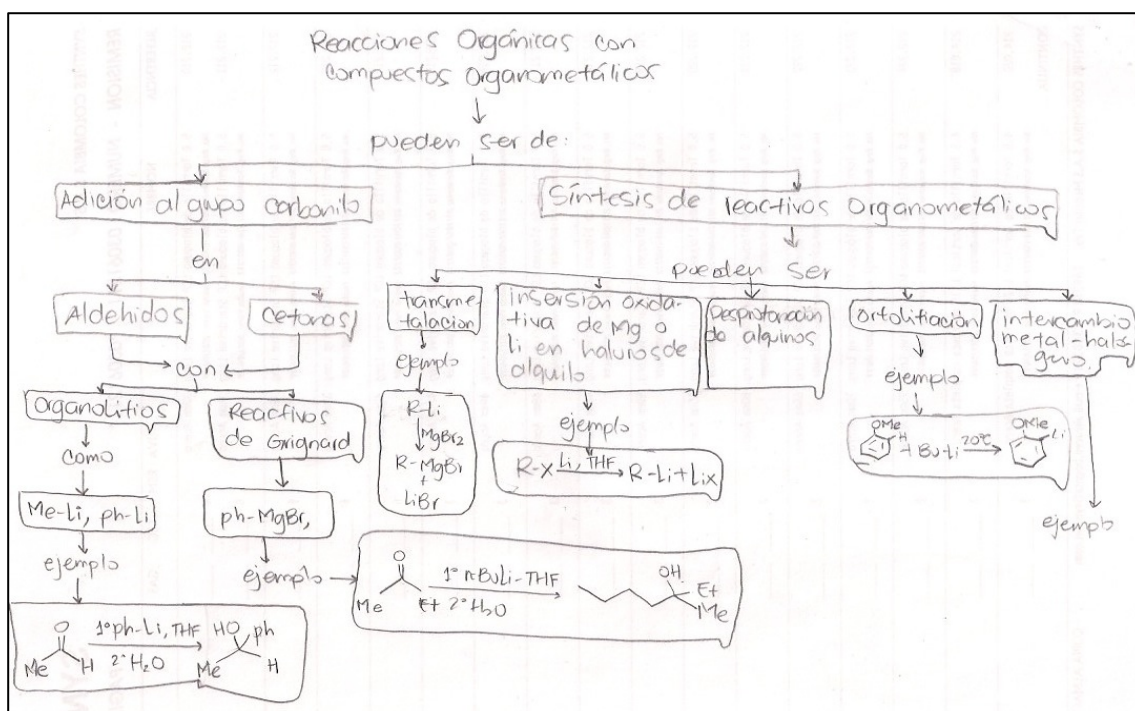


Figura 6.77. Mapa conceptual de Alejo sobre la reactividad de compuestos organometálicos.

Descripción del mapa conceptual (figura 6.77): se observa un mapa bien estructurado con un orden jerárquico en los conceptos, no se presentan relaciones cruzadas entre ellos y se emplean ‘conectores’ adecuados. Para la mayoría de los casos se proponen ejemplos que incluyen representaciones con fórmulas químicas estructurales y la asignación de pares de electrones libres. En conclusión, se puede decir que el mapa posee buena coherencia, todos los ejemplos son utilizados acertadamente y predomina una lectura lineal.

A continuación, se presenta en la tabla 6.25 las calificaciones obtenidas por Alejo, en los distintos criterios valorados en los dos mapas conceptuales que realizó, según la rúbrica descrita en el capítulo 4. utilizada para calificar los mapas conceptuales, atendiendo a las categorías:

Tabla 6.25 Calificaciones obtenidas por Alejo en los dos mapas conceptuales que elaboró

Criterios a evaluar	Muy bueno 4 puntos	Bueno 3 puntos	Suficiente 2 puntos	Insuficiente 1 punto	Mapa 1	Mapa 2
Concepto principal	El concepto principal es adecuado y pertinente con el tema.	El concepto principal es relevante dentro del tema.	El concepto principal pertenece al tema, pero no es el más adecuado.	El concepto principal no tiene relación con el tema.	3	3
Conceptos subordinados	Incluye todos los conceptos importantes que representa la información principal del tema. No repite conceptos	Incluye la mayoría de los conceptos importantes que representan la información principal del tema.	Faltan conceptos importantes que representan la información principal del tema. Repite algún concepto.	Incluye solo algunos de los conceptos importantes que representan la información principal del tema, faltan algunos significativos.	3	3
Palabras de enlace y proposiciones	La mayor parte de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema y representan la información principal.	Algunas de las proposiciones son invalidadas o no representan la información principal del tema.	Solo algunas de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema.	Presenta proposiciones inválidas de acuerdo al tema con enlaces que describen una relación inexistente, o afirmaciones falsas o vagas.	3	4
Relaciones cruzadas y Creatividad	El mapa conceptual integra relaciones relevantes creativas y novedosas.	El mapa conceptual muestra relaciones cruzadas adecuadas y pertinentes.	El mapa conceptual presenta relaciones cruzadas pero un tanto irrelevantes respecto de la información principal del tema.	No presenta relaciones cruzadas entre conceptos.	1	3
Jerarquía	Todos los conceptos están ordenados jerárquicamente. (sin ser alguno de ellos un ejemplo)	Muchos de los conceptos están ordenados jerárquicamente, (sin ser alguno de ellos un ejemplo).	Algunos de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (alguno de ellos es ejemplo).	La mayoría de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (muchos de ellos son ejemplos).	3	3

Estructura (complejidad estructural)	Elaboración global, coherente, precisa, diferenciada y de fácil interpretación	Elaboración global, clara, algo diferenciada y de aceptable interpretación.	Elaboración global, equilibrada, no diferenciada, y de regular interpretación.	Elaboración lineal, con secuencias de oraciones largas, o presenta una estructura desorganizada, simple, o difícil de interpretar.	3	3
PUNTAJE TOTAL					16	19

Nivel de progresión en la elaboración de mapas conceptuales		
Nivel 1: 1 a 6 puntos; Nivel 2: 7 a 12 puntos. Nivel 3: 13 a 18 puntos; Nivel 4: 19 a 24 puntos;		
CASO <i>Alejo</i>	Para la reactividad de compuestos organometálicos	Para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas
Alcance	Nivel 3	Nivel 4

El resultado anterior indica que Alejo pasa al nuevo nivel 4 según la elaboración de los mapas conceptuales, con mejoras sustanciales, pero con algunos desaciertos que continuará mejorando, dada la aptitud que ha mostrado en el proceso de aprendizaje.

Caso Niko

Descripción del mapa conceptual: se observa que la jerarquía conceptual se establece en tres niveles, las relaciones entre los conceptos no incluyen ‘conectores’. La lectura del mapa es muy lineal y solo lleva a plantear ejemplos de los conceptos, las relaciones no son significativas y más bien se asemeja a un diagrama tipo resumen. Aparecen ilustradas muchas fórmulas químicas estructurales y de composición (12 veces). La coherencia en el mapa es débil y no propone relaciones nuevas e interesantes, enfatiza en ejemplos concretos omitiendo en estos la asignación de pares de electrones libres.

El mapa conceptual de la figura 6.79 fue elaborado después de terminar la discusión completa sobre las reacciones de adición nucleofílica y durante la actividad de resolución de problemas, justo después de resolver el problema 16. Este mapa conceptual, a diferencia de los casos anteriores, no se preparó con la intención de servir como guía para la preparación de la prueba parcial, fue un requerimiento del investigador para poder reconocer el grado de avance conceptual del estudiante.

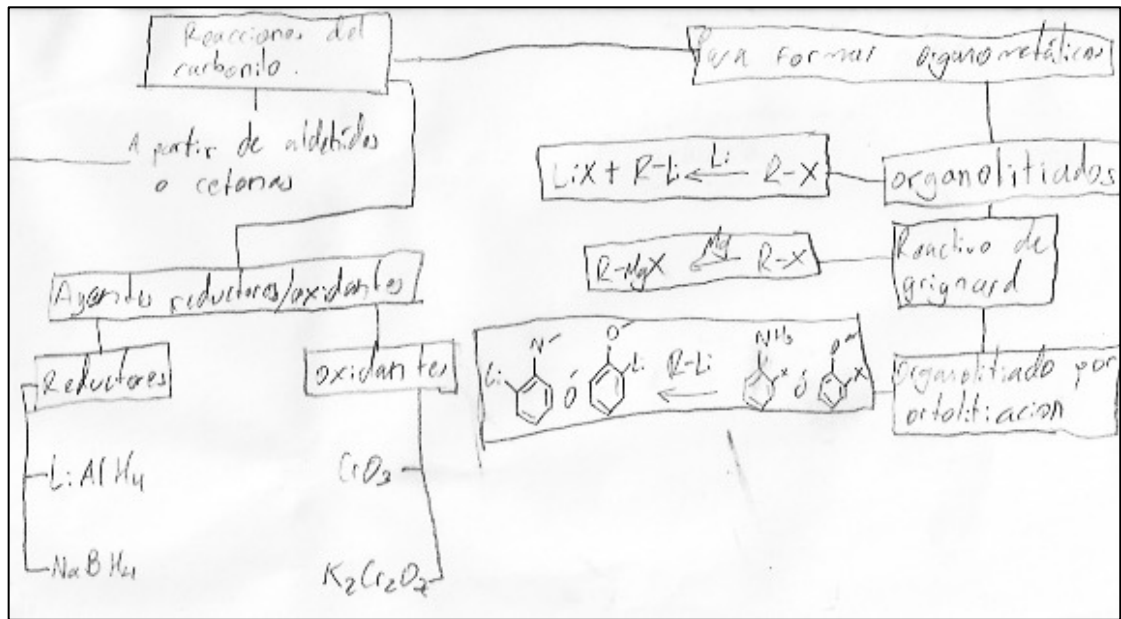


Figura 6.79. Mapa conceptual de Niko sobre la reactividad de compuestos organometalicos.

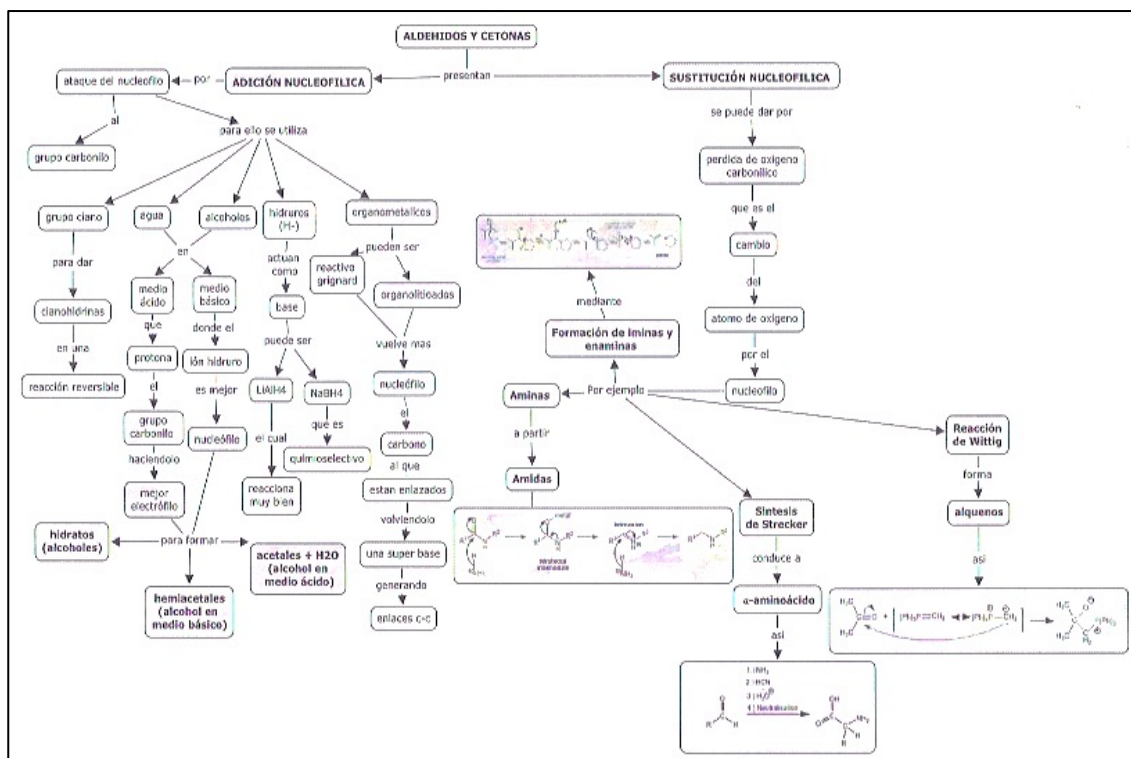


Figura 6.80. Mapa conceptual elaborado por Niko para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas

Descripción (figura 6.80): el mapa conceptual presentado por Niko incluye todos los temas relacionados, por lo cual su grado de complejidad mejora mucho con respecto al anterior (figura 6.79); se incluyen conectores en todas las relaciones conceptuales, es situado el concepto más general en la parte superior formando un mapa jerarquizado el cual se ramifica de forma lineal, sin incluir nuevas relaciones cruzadas. La coherencia en la lectura de los conceptos es adecuada, mucho mejor que en otros intentos, se incluye la representación de ejemplos específicos en algunos de los conceptos en forma de mecanismo de reacción.

Respecto al lenguaje químico, se observa una ganancia en el uso de palabras y símbolos técnicos como fórmulas químicas, se evidencian relaciones más inclusivas y coherentes. No son representados los pares de electrones libres, en particular, para este concepto como ya se ha mencionado. Niko presenta una postura rígida omitiendo la representación y aunque el significado se comprende, no se exterioriza, él reconoce la importancia de la notación, simplemente, ha decidido dibujarla cuando la considera absolutamente necesaria.

A continuación, se presenta en la tabla 6.26 las calificaciones obtenidas por Niko, en los distintos criterios valorados en los dos mapas conceptuales que realizó, según la rúbrica descrita en el capítulo 4 utilizada para calificar los mapas conceptuales, atendiendo a las categorías definidas:

Tabla 6.26 Calificaciones obtenidas por Niko en los dos mapas conceptuales que elaboró

Criterios a evaluar	Muy bueno 4 puntos	Bueno 3 puntos	Suficiente 2 puntos	Insuficiente 1 punto	Mapa 1	Mapa 2
Concepto principal	El concepto principal es adecuado y pertinente con el tema.	El concepto principal es relevante dentro del tema.	El concepto principal pertenece al tema, pero no es el más adecuado.	El concepto principal no tiene relación con el tema.	2	3
Conceptos subordinados	Incluye todos los conceptos importantes que representa la información principal del tema. No repite conceptos	Incluye la mayoría de los conceptos importantes que representan la información principal del tema.	Faltan conceptos importantes que representan la información principal del tema. Repite algún concepto.	Incluye solo algunos de los conceptos importantes que representan la información principal del tema, faltan algunos significativos.	2	4

Palabras de enlace y proposiciones	La mayor parte de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema y representan la información principal.	Algunas de las proposiciones son invalidadas o no representan la información principal del tema.	Solo algunas de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema.	Presenta proposiciones inválidas de acuerdo al tema con enlaces que describen una relación inexistente, o afirmaciones falsas o vagas.	2	4
Relaciones cruzadas y Creatividad	El mapa conceptual integra relaciones relevantes creativas y novedosas.	El mapa conceptual muestra relaciones cruzadas adecuadas y pertinentes.	El mapa conceptual presenta relaciones cruzadas pero un tanto irrelevantes respecto de la información principal del tema.	No presenta relaciones cruzadas entre conceptos.	1	2
Jerarquía	Todos los conceptos están ordenados jerárquicamente. (sin ser alguno de ellos un ejemplo)	Muchos de los conceptos están ordenados jerárquicamente, (sin ser alguno de ellos un ejemplo).	Algunos de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (alguno de ellos es ejemplo).	La mayoría de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (muchos de ellos son ejemplos).	2	3
Estructura (complejidad estructural)	Elaboración global, coherente, precisa, diferenciada y de fácil interpretación	Elaboración global, clara, algo diferenciada y de aceptable interpretación.	Elaboración global, equilibrada, no diferenciada, y de regular interpretación.	Elaboración lineal, con secuencias de oraciones largas, o presenta una estructura desorganizada, simple, o difícil de interpretar.	2	3
PUNTAJE TOTAL					11	19

Nivel de progresión en la elaboración de mapas conceptuales		
Nivel 1: 1 a 6 puntos; Nivel 2: 7 a 12 puntos. Nivel 3: 13 a 18 puntos; Nivel 2: 19 a 24 puntos;		
CASO <i>Niko</i>	Para la reactividad de compuestos organometálicos	Para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas
<i>Alcance</i>	Nivel 2	Nivel 4

El resultado anterior indica que Niko presenta una evolución positiva para la elaboración de los mapas conceptuales, pasando del nivel 2 al nivel 4 en este momento de la intervención.

Caso Carlos

En las figuras 6.81 y 6.82 se presentan los mapas realizados por Carlos seguidos de su correspondiente descripción

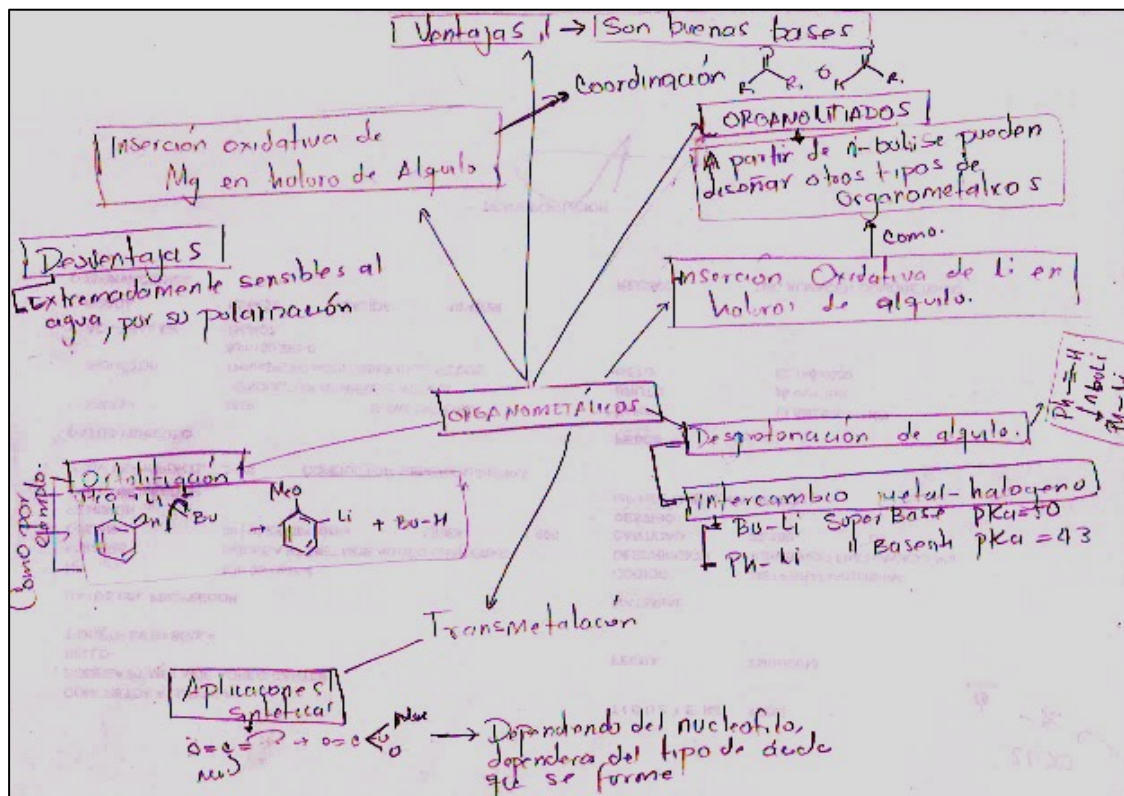


Figura 6.81. Mapa conceptual elaborado por Carlos para la reactividad de compuestos organometálicos.

Descripción del mapa conceptual (figura 6.81): se observa un mapa estructurado radialmente desde el centro, con un orden jerárquico en los conceptos, sin relaciones cruzadas entre ellos; se presentan pocos ‘conectores’ y algunos están incluidos en el recuadro del concepto. Se proponen algunos ejemplos que incluyen representaciones con fórmulas químicas estructurales y sin la asignación de pares de electrones libres. El mapa posee adecuada coherencia, donde predomina una lectura lineal.

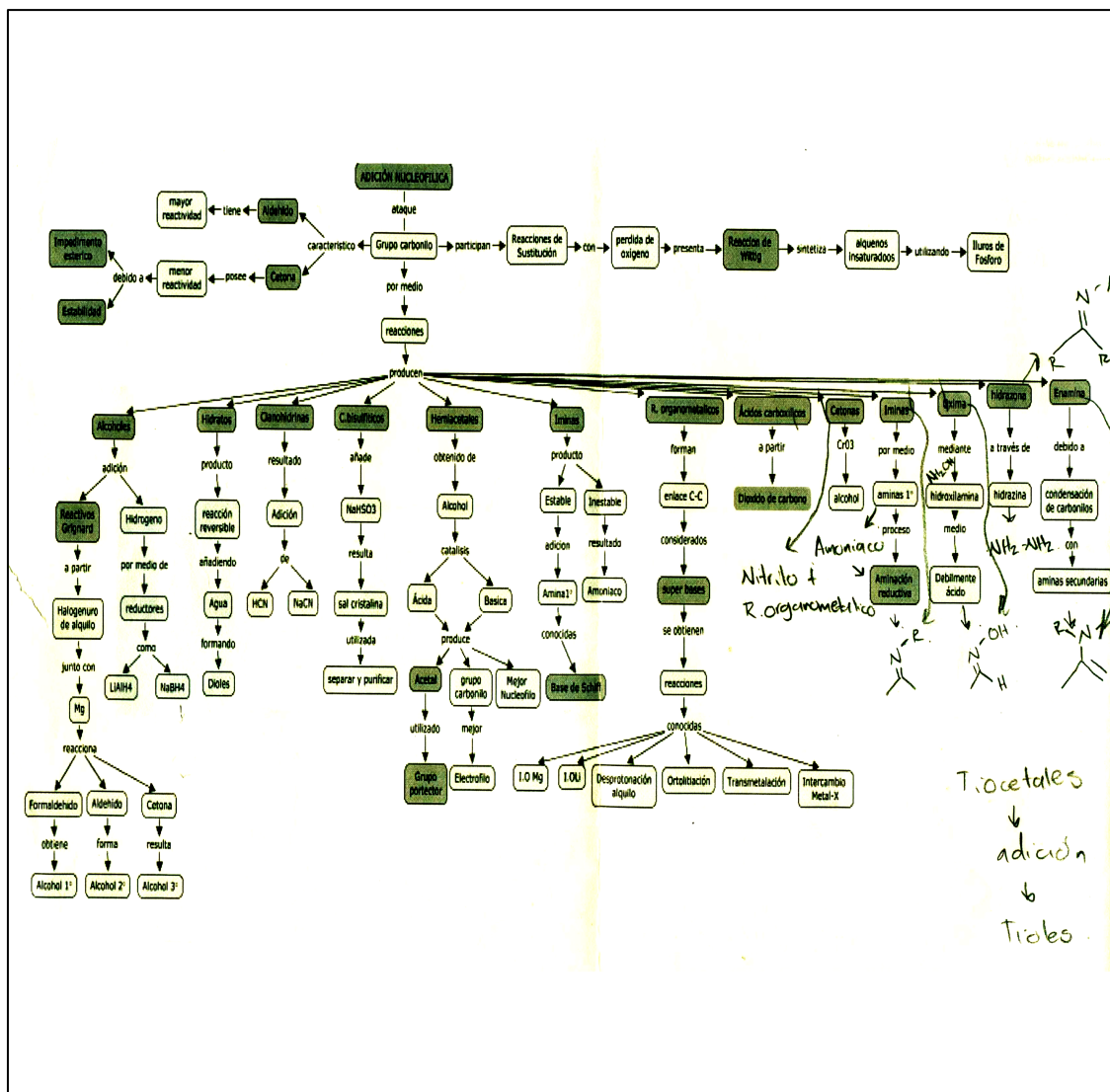


Figura 6.82. Mapa conceptual elaborado por Carlos para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas.

Descripción del mapa conceptual (figura 6.82): el mapa conceptual propuesto posee una estructura donde se reconoce el orden jerárquico por estratos. Los conceptos claves aparecen resaltados con diferenciación de la intensidad del color. Predomina una lectura lineal con muchos conceptos, algunos en ocasiones se visualizan como conectores. No es posible encontrar relaciones cruzadas de conceptos. En este mapa desaparecen por completo las fórmulas químicas estructurales, y solo después de una corrección son incluidas algunas para los compuestos menos familiares como Oximas, Iminas y Enaminas, acompañadas por sus nombres. Se incluyen ejemplos en los niveles más bajos de jerarquía, a pesar de que algunos de ellos comparten similitudes como los reactivos organometálicos de Grignard y los órganos Litiados, que se presentan en sectores diferentes del mapa

En conclusión, el mapa conceptual reúne un gran número de conceptos propios de la unidad de conocimiento, mejora con respecto al presentado al comienzo de este apartado, resaltando el esfuerzo del estudiante por realizar una síntesis conceptual, que no fue detectada en los intentos anteriores.

A continuación, se presenta en la tabla 6.27 las calificaciones obtenidas por Carlos, en los distintos criterios valorados en los dos mapas conceptuales que realizó, según la rúbrica descrita en el capítulo 4 utilizada para calificar los mapas conceptuales, atendiendo a las categorías:

Tabla 6.27 Calificaciones obtenidas por Carlos en los dos mapas conceptuales que elaboró

Criterios a evaluar	Muy bueno 4 puntos	Bueno 3 puntos	Suficiente 2 puntos	Insuficiente 1 punto	Mapa 1	Mapa 2
Concepto principal	El concepto principal es adecuado y pertinente con el tema.	El concepto principal es relevante dentro del tema.	El concepto principal pertenece al tema, pero no es el más adecuado.	El concepto principal no tiene relación con el tema.	3	3
Conceptos subordinados	Incluye todos los conceptos importantes que representa la información principal del tema. No repite conceptos	Incluye la mayoría de los conceptos importantes que representan la información principal del tema.	Faltan conceptos importantes que representan la información principal del tema. Repite algún concepto.	Incluye solo algunos de los conceptos importantes que representan la información principal del tema, faltan algunos significativos.	3	3
Palabras de enlace y proposiciones	La mayor parte de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema y representan la información principal.	Algunas de las proposiciones son invalidadas o no representan la información principal del tema.	Solo algunas de las proposiciones son válidas de acuerdo al tema.	Presenta proposiciones inválidas de acuerdo al tema con enlaces que describen una relación inexistente, o afirmaciones falsas o vagas.	3	3
Relaciones cruzadas y Creatividad	El mapa conceptual integra relaciones relevantes creativas y novedosas.	El mapa conceptual muestra relaciones cruzadas adecuadas y pertinentes.	El mapa conceptual presenta relaciones cruzadas pero un tanto irrelevantes respecto de la información principal del tema.	No presenta relaciones cruzadas entre conceptos.	1	1

Jerarquía	Todos los conceptos están ordenados jerárquicamente. (sin ser alguno de ellos un ejemplo)	Muchos de los conceptos están ordenados jerárquicamente, (sin ser alguno de ellos un ejemplo).	Algunos de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (alguno de ellos es ejemplo).	La mayoría de los conceptos no están ordenados jerárquicamente (muchos de ellos son ejemplos).	2	3
Estructura (complejidad estructural)	Elaboración global, coherente, precisa, diferenciada y de fácil interpretación	Elaboración global, clara, algo diferenciada y de aceptable interpretación.	Elaboración global, equilibrada, no diferenciada y de regular interpretación.	Elaboración lineal, con secuencias de oraciones largas, o presenta una estructura desorganizada, simple, o difícil de interpretar.	3	3
Puntaje Total					15	16

Nivel de progresión en la elaboración de mapas conceptuales		
Nivel 1: 1 a 6 puntos; Nivel 2: 7 a 12 puntos Nivel 3: 13 a 18 puntos; Nivel 2: 19 a 24 puntos		
CASO Carlos	Para la reactividad de compuestos organometálicos	Para las reacciones de adición nucleofílica de Aldehídos y Cetonas
Alcance	Nivel 3	Nivel 3

El resultado anterior indica que Carlos continúa en el mismo nivel, lejos de pasar al siguiente según la elaboración de los mapas conceptuales, con mejoras, pero con algunos desaciertos que no permiten aún evidenciar un avance significativo mayor en el proceso.

6.10 Clasificación por niveles de progresión en el dominio de la comprensión conceptual

En este apartado se clasifica a los estudiantes en distintos niveles según su grado de dominio de la comprensión conceptual, antes, en la mitad y después del proceso de enseñanza y aprendizaje, utilizando la rúbrica de la tabla 4.5. Para evidenciarlo se han utilizado los datos recogidos mediante los instrumentos: estudio preliminar (apartado 6.1), la descripción del lenguaje químico en la indagación preliminar (apartado 6.2.2), las entrevistas, la resolución de problemas (apartado 6.6), el conjunto de actividades transversales como la interacción con juegos (Químico y Sudoku de grupos funcionales) (apartados 6.3 y 6.5 respectivamente) y el trabajo durante las clases, entre ellos la construcción de mapas conceptuales (apartado 6.8).

Terminada la indagación preliminar, a partir de las dos semanas siguientes fueron recopilados los datos para establecer las puntuaciones que se consignan en la segunda columna de la tabla 6.28, relativos a la evaluación de la comprensión conceptual. La puntuación de la tercera columna se infirió de la información de los estudiantes obtenida de sus respuestas a los 10 primeros problemas, las actividades transversales Quimino y Sudoku, en conjunto con las adaptaciones del libro de texto Pushing Electrons (Weeks, 1995, 2013). De igual forma, la puntuación de la cuarta columna se ha obtenido de los datos recogidos de los problemas 11 a 20, incluyendo la construcción de mapas conceptuales, entrevistas, discusiones y el trabajo completo en el aula de clases.

Seguidamente presentamos para cada Caso analizado la calificación y nivel de progresión conseguido en el dominio de la comprensión conceptual, a medida que iba avanzando el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Caso Dani

Particularmente **Dani** ofreció bastante información, ella reconocía los símbolos químicos con algunas deficiencias para otorgarles significados, también mostró dificultades para la clasificación de la información como se presenta en el anexo D, donde se describe con detalle la solución del problema 10. Su capacidad explicativa aumentó durante el proceso, enunciando nuevos términos propios del lenguaje químico y, además, consecuentes con el significado.

Para la capacidad de análisis fue menos evidente su evolución, sin embargo, fue notorio el hecho de que realizaba en múltiples ocasiones varias lecturas de los enunciados de los problemas, condición importante para realizar una adecuada resolución. El parámetro que obtuvo mejor calificación en el criterio *Evaluar* fue la capacidad para argumentar de forma coherente su selección del proceso más adecuado al resolver los problemas; para los otros dos criterios no presentó un avance significativo, lo que condujo a la menor calificación entre todos los criterios evaluados.

A continuación, en la tabla 6.28, se presentan las calificaciones obtenidas para **Dani**.

Tabla 6.28 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Dani

CRITERIOS PARA EVALUAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL	Antes de la enseñanza (Estudio Preliminar)	Mitad de la enseñanza	Después de la enseñanza
Identificar Clasificar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Excelente 4 puntos
Explicar Sintetizar	Regular 2 puntos	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos
Analizar Aplicar	Regular 2 puntos	Regular 2 puntos	Bueno 3 puntos
Evaluar	Deficiente 1 punto	Regular 2 puntos	Regular 2 puntos
TOTAL	8 puntos	10 puntos	12 puntos
Nivel de progresión en el dominio de la comprensión conceptual Nivel 1: 1 a 4 puntos; Nivel 2: 5 a 8 puntos Nivel 3: 9 a 12 puntos; Nivel 4: 13 a 16 puntos	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 3

Caso Cata

Para **Cata** la evolución en el dominio de la comprensión conceptual fue poco notable, todas las evaluaciones a lo largo del proceso mostraron un puntaje casi igual, pero hay que tener en cuenta que a medida que avanzaba la enseñanza los tópicos discutidos fueron aumentando en complejidad y cantidad de conceptos a asimilar. Con respecto a las capacidades *identificar* y *clasificar*, Cata reconoce e identifica símbolos desde diferentes registros y los otorga significados, y también mostró capacidad para clasificar información durante todas las etapas del estudio.

En cuanto al criterio de análisis *Explicar* evidenció en varias ocasiones dificultades para sintetizar la información de los problemas 13 y 14 (ver anexo D), ella era capaz de establecer relaciones conceptuales, pero en el momento de hacerlas explícitas en la resolución de problemas aparecían dudas e inseguridades para aplicarlas, lo que le condujo a errores forzados e inadecuados al resolver los problemas. En el criterio de *analizar* se le asignó una baja calificación por el reducido número de problemas resueltos adecuadamente (ver tabla 6.14) y de la necesidad de implementar nuevas relaciones en dichas tareas.

Por último, en la capacidad de *Evaluar* demostró la más baja asignación de puntaje, ella no logró argumentar de forma coherente los procesos de resolución de problemas, igualmente no tuvo habilidad para hacer valoraciones personales y criticar los resultados propuestos, aunque fueran inadecuados.

A continuación, se presentan las calificaciones obtenidas para **Cata**:

Tabla 6.29 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Cata

CRITERIOS PARA EVALUAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL	Antes de la enseñanza (Estudio Preliminar)	Mitad de la enseñanza	Después de la enseñanza
Identificar Clasificar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Regular 2puntos
Explicar Sintetizar	Regular 2puntos	Bueno 3 puntos	Regular 2puntos
Analizar Aplicar	Regular 2 puntos	Regular 2 puntos	Regular 2puntos
Evaluar	Deficiente 1 punto	Deficiente 1 punto	Deficiente 1 punto
TOTAL	8 puntos	9 puntos	7 puntos
Nivel de progresión en el dominio de la comprensión conceptual Nivel 1: 1 a 4 puntos; Nivel 2: 5 a 8 puntos Nivel 3: 9 a 12 puntos; Nivel 4: 13 a 16 puntos	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 2

Caso Lina

Las calificaciones obtenidas por **Lina** se ubicaron en los niveles más bajos de dominio de comprensión conceptual. Las capacidades que mejor desarrolló fue las de *Identificar y Clasificar*. Lina expresó buena capacidad para reconocer e identificar símbolos químicos a los cuales les otorga significado, al igual clasifica y organiza información química proveniente de los enunciados y lecturas. Sobre el criterio *evaluar*, los datos registrados indicaron que no consiguió subir del nivel más bajo, sus explicaciones eran demasiado cortas y simples y aunque intentaba proponer relaciones entre conceptos y organizarlos, durante la resolución de problemas los aplicaba muy mal, lo que condujo a que resolviera de manera correcta solo un pequeño número de problemas (ver gráfico 6.20).

Su capacidad de implementar nuevas relaciones significativas fue escasa, sin embargo, ofreció oportunidades donde se presentaban nuevos conceptos sin un significado contundente. Su más bajo desempeño fue a la hora de *Evaluar*, la forma en que intentaba argumentar sus propuestas siempre eran deficientes y, ante una réplica del instructor, cambiaba fácilmente de opinión. Tampoco mostró una capacidad para hacer una valoración personal y social de los conceptos químicos discutidos, por lo tanto, la calificación para este criterio se mantuvo en todo el proceso como deficiente.

A continuación, se presentan las calificaciones obtenidas para **Lina**:

Tabla 6.30 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Lina

CRITERIOS PARA EVALUAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL	Antes de la enseñanza (Estudio Preliminar)	Mitad de la enseñanza	Después de la enseñanza
Identificar Clasificar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos
Explicar Sintetizar	Regular 2 puntos	Regular 2 puntos	Regular 2 puntos
Analizar Aplicar	Regular 2 puntos	Deficiente 1 punto	Regular 2 puntos
Evaluar	Deficiente 1 punto	Deficiente 1 punto	Deficiente 1 punto
TOTAL	8 puntos	7 puntos	8 puntos
Nivel de progresión en el dominio de la comprensión conceptual Nivel 1: 1 a 4 puntos; Nivel 2: 5 a 8 puntos Nivel 3: 9 a 12 puntos; Nivel 4: 13 a 16 puntos	Nivel 2	Nivel 2	Nivel 2

Caso Alejo

Los datos obtenidos permitieron identificar el avance en el dominio de la comprensión conceptual alcanzada por **Alejo**. Para todos los criterios evaluados se evidenció una evolución positiva, pasando del nivel 3 antes de la enseñanza al nivel 4 durante y después de esta. El estudiante mostró alta capacidad para reconocer símbolos químicos coherentes con sus significados, de igual forma pudo clasificar la información suministrada de enunciados y textos informativos. Durante todo el proceso proporcionó acciones que demuestran que logró establecer relaciones entre conceptos y

jerarquizarlos, tal como se muestra en la tabla 6.25 respecto a la elaboración de mapas conceptuales.

Con respecto al criterio *Analizar Aplicar*, Alejo presentó una buena capacidad para resolver problemas adecuadamente, realizando un análisis reflexivo de los enunciados, aunque mostró algunas dificultades para implementar nuevos aprendizajes debido al tiempo que tardó en ponerlos en práctica. En cuanto al criterio *Evaluar* proporcionó una postura coherente para argumentar los procesos de resolución de problemas, logró hacer valoraciones, aunque a veces imprecisas, de la importancia social y personal de los conceptos aprendidos; también tuvo dificultad para criticar los resultados obtenidos en su trabajo, ya sea al resolver problemas o con respecto a las propuestas de resolución de sus compañeros. En general, **Alejo** se posicionó con una buena evaluación para la comprensión conceptual por los buenos resultados obtenidos durante el proceso de enseñanza.

A continuación, se presentan las calificaciones obtenidas para **Alejo**:

Tabla 6.31 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Alejo

CRITERIOS PARA EVALUAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL	Antes de la enseñanza (Estudio Preliminar)	Mitad de la enseñanza	Después de la enseñanza
Identificar Clasificar	Bueno 3 puntos	Excelente 4 puntos	Excelente 4 puntos
Explicar Sintetizar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Excelente 4 puntos
Analizar Aplicar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos
Evaluar	Regular 2 puntos	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos
TOTAL	11 puntos	13 puntos	14 puntos
Nivel de progresión en el dominio de la comprensión conceptual Nivel 1: 1 a 4 puntos; Nivel 2: 5 a 8 puntos Nivel 3: 9 a 12 puntos; Nivel 4: 13 a 16 puntos	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 4

Caso Niko

Niko fue el caso que demostró un mejor desempeño con respecto a apropiación de la comprensión conceptual, su evaluación mostró después de la enseñanza una clasificación casi perfecta, en el nivel 4, con 15 puntos de 16 posibles, coherente con su desempeño personal y evolución positiva desde el estudio preliminar antes de la enseñanza, la mitad de la enseñanza y el final de la investigación. Por lo anterior Niko mostró una deficiencia en cuanto a hacer una valoración personal y social de la utilidad de la comprensión de los conceptos químicos tratados en las tareas y resolución de problemas, además de su negativa a la asignación de pares de electrones libres en todas las tareas. Para los demás criterios de evaluación tal y como se muestra en la tabla 6.32, el desempeño fue de *bueno* a *excelente*, excepto para el criterio de *Evaluar* donde terminó calificado como *bueno*.

A continuación, se presentan las calificaciones obtenidas para **Niko**:

Tabla 6.32 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Niko

CRITERIOS PARA EVALUAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL	Antes de la enseñanza (Estudio Preliminar)	Mitad de la enseñanza	Después de la enseñanza
Identificar Clasificar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Excelente 4 puntos
Explicar Sintetizar	Bueno 3 puntos	Excelente 4 puntos	Excelente 4 puntos
Analizar Aplicar	Bueno 3 puntos	Excelente 4 puntos	Excelente 4 puntos
Evaluar	Regular 2 puntos	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos
TOTAL	11 puntos	14 puntos	15 puntos
Nivel de progresión en el dominio de la comprensión conceptual Nivel 1: 1 a 4 puntos; Nivel 2: 5 a 8 puntos Nivel 3: 9 a 12 puntos; Nivel 4: 13 a 16 puntos	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 4

Caso Carlos

Después de analizar todos los datos aportados por Carlos, deducimos que no evolucionó en la capacidad de *Identificar - Clasificar* durante los tres momentos evaluados; si bien es notorio que adquirió nuevos conceptos no fue posible percibir en las tareas que realizó una evolución en la capacidad de representar símbolos químicos con su significado adecuado, muy evidente para la asignación de pares de electrones libres, resultados mostrados en detalle en el anexo D.

Para los criterios *Explicar, Sintetizar, Analizar, Aplicar y Evaluar* evidenció una mejora a lo largo del tiempo sin llegar a ser todos excelentes; algunos de ellos como la capacidad de criticar los resultados y conclusiones no fueron sobresalientes, tampoco mostró interés por reconocer una valoración personal y social de la utilidad de los conceptos químicos adquiridos, por lo tanto, su calificación para este criterio solo pudo pasar de *regular a bueno* al final de la enseñanza.

A continuación, se presentan las calificaciones obtenidas para **Carlos**:

Tabla 6.33 Calificación y nivel de dominio de la comprensión conceptual de Carlos

CRITERIOS PARA EVALUAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL	Antes de la enseñanza (Estudio Preliminar)	Mitad de la enseñanza	Después de la enseñanza
Identificar Clasificar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos
Explicar Sintetizar	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos	Hasta 4 puntos
Analizar Aplicar	Bueno 2 puntos	Bueno 3 puntos	Bueno 3 puntos
Evaluar	Regular 2 puntos	Regular 2 puntos	Bueno 3 puntos
TOTAL	10 puntos	11 puntos	13 puntos
Nivel de progresión en el dominio de la comprensión conceptual Nivel 1: 1 a 4 puntos; Nivel 2: 5 a 8 puntos Nivel 3: 9 a 12 puntos; Nivel 4: 13 a 16 puntos	Nivel 3	Nivel 3	Nivel 4

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

GENERALES

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES GENERALES

Después de la presentación y análisis de los datos registrados en la investigación desarrollada, es el momento de extraer algunas consideraciones y conclusiones para evidenciar en qué medida los resultados de la investigación realizada dan respuestas coherentes y válidas a las cuestiones y preguntas formuladas como punto de partida de la Tesis, relacionadas con la comprensión conceptual sobre la Reactividad Química de los estudiantes, mediada por el lenguaje químico, en la resolución de problemas. Con esa finalidad, se implementó una Unidad Didáctica en el aula que ha procurado en los estudiantes una asimilación de significados. Se han elaborado materiales potencialmente significativos para favorecer la transformación del significado lógico en psicológico. Seis estudiantes han participado como protagonistas del proceso de investigación. Su actitud frente al trabajo, la disposición al pasar algunas horas después de las clases resolviendo problemas, discutiendo las respuestas, realizando mapas conceptuales, en aras de construir y reconstruir el conocimiento, reconociendo sus errores e intentando aprender de ellos, constituye un esfuerzo invaluable para alcanzar los objetivos propuestos por el investigador. Es el profesor quien ha orientado el trabajo y seguimiento del proceso de aprendizaje en los estudiantes.

Las preguntas en el inicio de la investigación se formularon así:

1. ¿Cómo utilizan los estudiantes el lenguaje químico mediante las representaciones que realizan al resolver problemas relacionados con la reactividad química de compuestos carbonílicos?
2. ¿Cómo evoluciona en los estudiantes a lo largo de dos semestres académicos en que se implementa la propuesta didáctica de las asignaturas Química Orgánica Uno y Dos el lenguaje químico y el significado conceptual en la resolución de problemas químicos relacionados con la reactividad de compuestos carbonílicos?
3. ¿Cuál es más difícil de resolver por los estudiantes, un problema enunciado con varios conceptos químicos y algunas relaciones entre ellos, en función del lenguaje químico utilizado, o un mismo problema con un enunciado que contiene pocos conceptos químicos, pocas relaciones entre

estos y escasa información? ¿Cuál de estos dos tipos de problemas prefieren los estudiantes resolver?

4. A medida que avanza la propuesta didáctica basada en potenciar el aprendizaje significativo, ¿los estudiantes mejoran en la comprensión del lenguaje utilizado en los enunciados y en la resolución de los problemas?

De acuerdo con los resultados de la investigación que han sido presentados y analizados en el capítulo anterior, se hace una reflexión conclusiva que ponga de manifiesto la coherencia de la propia investigación, es decir, si las preguntas y cuestiones planteadas tienen respuestas científicas, si la enseñanza impartida ha contribuido para el aprendizaje de significados sobre conceptos químicos y si los estudiantes de los seis casos participantes en la investigación han evolucionado progresivamente en la comprensión y uso del lenguaje químico.

7.1 Progresiva evolución en el lenguaje químico y la comprensión conceptual

Se incluyen en este apartado y en el 7.3 las conclusiones que responden a las cuestiones 1 y 2 referentes a cómo utilizan los estudiantes el lenguaje en la resolución de problemas y su incidencia en la comprensión conceptual. Al mismo tiempo se responde a la cuestión 4 sobre el nivel de dificultad que encuentran los estudiantes en la resolución de los problemas según el número de conceptos y relaciones en sus enunciados.

Las respuestas a esos interrogantes permiten valorar la evolución sobre el significado que los estudiantes atribuyen al lenguaje químico y la comprensión conceptual, durante la intervención didáctica. Para ello se han analizado las representaciones que utilizan en la resolución de problemas y en otras actividades, de acuerdo a las categorías y niveles de conceptualización definidos. A continuación, se señalan algunos aspectos que caracterizan a cada uno de los seis casos:

Caso Dani

El desempeño de Dani en el proyecto de investigación fue valioso: comprometida, participativa, alegre y bastante responsable con las labores asignadas, participó en todas las sesiones y actividades sin una sola ausencia en los dos semestres.

Del análisis de las respuestas de Dani a los problemas, se puede decir que se esforzó por lograr la comprensión, avanzó en sus representaciones a través del lenguaje químico desde un grado medio a alto. Representó “inadecuadamente” conceptos fundamentales, como los *símbolos químicos*, por lo cual el uso de este concepto llamó la atención entre los demás casos, sin embargo, tras identificar y discutir sus apreciaciones pudieron ser resueltas y mejoradas.

El aprendizaje significativo alcanzado sobre los conceptos referidos a la categoría uno se puede situar entre representacional y conceptual. Fue notoria la atribución de los significados a los *símbolos químicos*, después de las entrevistas se pudo evidenciar que los reconoce e interpreta. Sobre los demás conceptos prevalece un adecuado significado y representación, sin ser perfecta ésta última. Durante el desarrollo de la intervención se observó mejoras significativas en su aprendizaje y con una actitud positiva frente al mismo.

Otra situación recurrente que observamos corresponde a la asignación inadecuada que Dani hace sobre las *fórmulas estructurales* de los reactivos de Grignard, identificada como dependiente de la incomprensión en la *valencia química*, la cual no pudo asimilarla completamente, lo que nos permitió inferir que para este aspecto no le fue posible alcanzar un aprendizaje significativo conceptual.

No fue capaz de asignar adecuadamente *pares de electrones libres*, lo hacía de un modo intermitente y descuidado, sin fundamento; a lo largo de las actividades no pudo mejorar satisfactoriamente, a pesar de corregirle y explicarle los errores en todos los problemas, siempre se encontraron momentos donde omitía su representación o era incompleta. Dani optó por representar cargas eléctricas negativas obviando los pares de electrones libres (observado en los mecanismos de reacción), lo cual no es apropiado. Sin el significado e importancia que tienen los pares de electrones libres de forma clara, pertinente y transferible, el avance a través del estudio de mecanismos de reacciones más complejos no se alcanzará con éxito.

Dani utilizó correctamente los conceptos *aniones y cationes*, *cargas eléctricas* y *polaridad* en las moléculas, conceptos que hace extensivos para proponer la formación y resonancia en moléculas y responder acertadamente cuestiones sobre estos. Este dato indica un aprendizaje significativo proposicional.

Respecto a la *notación de Robinson* y el planteamiento de *mecanismos de reacción*, presentó situaciones donde su uso fue inadecuado, aunque existía coherencia en el significado, puesto que los mecanismos de reacción llegaban a feliz término. Esto nos indica que Dani comprende los principios y razonamientos, pero comete errores en la representación; es una transición difícil de identificar, y solo con el diálogo se puede percibir que posee limitaciones en el momento de explicitar sus pensamientos.

Un individuo con alta experiencia en los temas podría rescatar más fácilmente las apreciaciones de verdad representadas en los mecanismos de reacción, pero un adecuado aprendizaje significativo debe ser transferible, por ende, los significados atribuidos y mostrados de forma representacional, deben llegar a cualquier interprete. De lo anterior podemos afirmar que la evolución de significados atribuidos a los mecanismos de reacción no fue significativa, los usos inadecuados de algunos conceptos fueron recurrentes, mientras que el uso adecuado de otros conceptos permaneció constante desde el principio de la intervención.

La categoría 5 no pudo ser analizada completamente puesto que sus conceptos no llegaron a ser utilizados ampliamente en el proceso de resolución de problemas; el único concepto que pudimos analizar fue el de *geometría molecular*, el cuál fue utilizado correctamente por la estudiante.

La evolución en el uso del lenguaje químico fue perceptible, algunos de los conceptos estudiados, como las fórmulas moleculares y las cargas eléctricas fueron bien utilizados desde la indagación preliminar y, otros, como la valencia química y la notación de Robinson mejoraron con su práctica indicando un avance positivo. Dani fue posicionada en el nivel 3 de los cuatro establecidos (ver tablas 6.15).

Con una apreciación inicial del 42%, la más baja de los casos en la indagación preliminar, Dani logró responder al final de la intervención adecuadamente a catorce problemas y a otros tres de forma incompleta, demostrando una asimilación de los conceptos al aplicarlos correctamente en la resolución de los problemas, lo que significó una progresión en el dominio de la comprensión conceptual del nivel 2 al nivel 3, y muy cerca (a un punto) de pasar al nivel 4 (ver tabla 6.26).

Caso Cata

Cata es una estudiante poco sobresaliente, de tipo intermedio. Aunque su participación en las actividades propuestas no fue completa, pues en algunas ocasiones no pudo asistir por causas justificadas, mostró interés en su trabajo, realizó las tareas asignadas con algunas dificultades y se comprometió a aprender.

En general, la implementación de elementos del lenguaje químico fue correcta, ya que solo en dos de 57 oportunidades no utilizó adecuadamente los conceptos atribuidos a la categoría uno, por lo tanto, usó muy bien los *símbolos químicos*, las *fórmulas de composición* y las *ecuaciones químicas*, de lo que se puede inferir que su aprendizaje conceptual fue significativo.

Respecto a la triada de los conceptos relativos a la categoría dos, en tres ocasiones Cata representa impropriamente las *fórmulas estructurales*, en los demás casos los compuestos representados no mostraron ninguna anomalía y la función de representación fue acorde con los significados buscados, sin embargo, no hay una trascendencia más allá de los significados de las estructuras al no identificar los sitios activos de éstas, lo que se asume como un aprendizaje significativo representacional básico.

La asignación y uso de *pares de electrones* presentó altibajos, en los primeros meses las representaciones fueron adecuadas, para luego decaer a una implementación intermitente que termina no alcanzando un dominio conceptual, a pesar de sus esfuerzos, lo que sugiere que desarrolló un aprendizaje mecánico. Ha utilizado adecuadamente los conceptos asociados a las *cargas eléctricas*, la asignación de *aniones* y *cationes* y la *polaridad* en las moléculas. Creemos que desarrolló un aprendizaje conceptual, pues no presentó ninguna dificultad en la asignación e interpretación de los conceptos y aportó explicaciones coherentes y con significado en las entrevistas con el profesor.

A pesar de completar el segundo curso de Química Orgánica, los resultados sugieren que Cata no es consciente de que necesita correlacionar la *notación de Robinson*, en la cual presentó anomalías en su implementación; para ella representan un movimiento de cargas y no de electrones, por lo que no comprendió el concepto. Aunque podría ser consciente de la necesidad de conectar las flechas curvas en los

mecanismos, su conocimiento de los principios de la química orgánica aún no está en una etapa operativa para poder aplicarlo a la resolución de problemas, este mismo resultado fue obtenido por Ferguson y Bodner (2008) en uno de sus estudios con estudiantes de segundo año del curso de química orgánica.

Cata evolucionó poco en la representación e interpretación de la notación química. Cuando los conceptos son tratados en las clases, los problemas recientes son resueltos correctamente, pero con el paso de los días algunos conceptos y representaciones entran en desuso y, por ende, no evolucionan. Este resultado se puede verificar tras la asignación de las categorías para el análisis del dominio del uso del lenguaje químico donde alcanza el nivel 2 de clasificación.

Por último, Cata se esforzó por comprender, pero a pesar de ello sus respuestas a los problemas son muy limitadas, resolviendo pocos problemas adecuadamente. Su aprendizaje es de tipo representacional sin trascender significativamente a establecer verdaderas relaciones de conceptos. Solamente progresó en el dominio de la comprensión conceptual, aunque mantuvo durante todo el proceso de enseñanza e investigación un nivel 2, sin acercarse al nivel 3 (ver tabla 6.29).

Caso Lina

Lina, una estudiante tímida, solo habla lo necesario, asistió regularmente a las clases, pero faltó a algunas sesiones de trabajo voluntario. Proviene de una familia con bajos recursos económicos, se interesa medianamente en aprender y es una estudiante promedio, de bajo rendimiento. Su participación en el proyecto fue muy valiosa al aportar su tiempo libre en la recolección de registros y datos.

Ella fue adquiriendo algunos conceptos a la vez que desarrollaba la capacidad de representación, implementándolos de forma gradual en la resolución de problemas. Los conceptos pertenecientes a la categoría uno fueron los que mejor comprendió, sobre todo los *símbolos químicos* que los utilizó adecuadamente en todas las actividades, mostrando un desarrollo del aprendizaje significativo representacional.

Lina representó las *fórmulas químicas estructurales* de forma inadecuada en varias respuestas a problemas, dejando incompleto el uso de los conceptos, como

valencia y ecuaciones químicas; procedimientos que funcionan como obstáculo para la adquisición de nuevas relaciones entre conceptos.

El empleo de *pares de electrones libres* ha sido un obstáculo para Lina, en casi todas las respuestas a los problemas, los omitió o los representó parcialmente. Sin duda, fue el concepto más descuidado por la estudiante y del que menos se apropió, indicativo de que no fue capaz de conseguir un aprendizaje significativo. Respecto al concepto de *carga eléctrica*, en uno de los problemas Lina lo usó erradamente para un nucleófilo y este acontecimiento le hizo declinar de inmediato en la resolución del problema, aunque después de la aclaración correspondiente que recibió del profesor, nunca más utilizó inadecuadamente este concepto, siendo uno de sus mayores logros. Sin embargo, pese a que puede escribir bien las cargas eléctricas para nucleófilos se percibe que no comprende la relación con los electrones que poseen, lo que dificulta de nuevo su apropiación de los conceptos.

Sobre la asignación de aniones, cationes y polaridad en moléculas, Lina no mostró falencias significativas en las representaciones, pero sí en los significados. En varias respuestas representó la notación de flechas curvas con alteraciones en su aplicación, esto conduce de forma inmediata a una inadecuada representación de los *mecanismos de reacción* y, por consiguiente, al fracaso en la resolución adecuada de muchos de los problemas.

En general, al resolver problemas sobre mecanismos específicos, Lina no se apropió adecuadamente del lenguaje químico y su significado, o bien no recordaba los conceptos y reglas necesarios, o solo recordaba parte de esta información y, además, lo que recordaba correctamente, a menudo lo aplicaba inadecuadamente, provocando un desestímulo en su participación.

Se constató un grado de asimilación escaso de los diferentes conceptos de las categorías, especialmente: pares de electrones libres, valencia química, notación de Robinson. Tuvo un comportamiento proclive a responder lo estrictamente necesario, lo cual creemos que determinó en parte los resultados finales en su desempeño en los cursos. De los seis casos, fue Lina quien mostró el menor esfuerzo, constancia y grado de compromiso por el aprendizaje.

Lina solicitaba enunciados de problemas con alto número de conceptos, argumentando que estos le daban pistas y le facilitaban alcanzar la solución y, efectivamente, los resultados obtenidos en la investigación fueron coherentes con lo que decía ya que, en la resolución de los problemas propuestos aquellos cuyos enunciados contenían más información obtuvieron respuestas próximas a las correctas.

Respecto al dominio de la comprensión conceptual, se encontró que Lina durante todo el proceso permaneció en el nivel 2 de comprensión, con un mismo puntaje al comienzo y al final, no experimentando progresión alguna. Durante el proceso de intervención Lina no consiguió aprender de modo significativo, principalmente porque no asumió una responsabilidad total por aprender, uno de los principios fundamentales para aprender significativamente, a pesar de la preocupación del profesor para proporcionarle situaciones que la interesaran y despertaran una mayor motivación por la Química. De hecho, tuvo que repetir el curso de Química Orgánica Dos.

Caso Alejo

Alejo se ha caracterizado por ser un estudiante destacado, comprometido con aprender, proviene de una familia de clase media baja, donde todos sus hermanos han recibido una educación entre técnica y tecnológica y él se perfila como el primer profesional. Su desempeño en el proceso de investigación siempre fue satisfactorio, acudiendo con regularidad a las clases y sesiones extras programadas para tal fin. Formuló muchas preguntas, aportó sus puntos de vista y propuso estrategias para la resolución de problemas y trabajo en equipo.

La adquisición del lenguaje químico como componente de la comprensión conceptual en los mecanismos de reacción fue un proceso gradual. Alejo emprendió el aprendizaje con el reconocimiento de nuevos signos que estructuran la Química Orgánica y los adquiridos en cursos anteriores. Implementó de forma adecuada el lenguaje químico en la resolución de problemas, empleó correctamente los *símbolos químicos*, las *fórmulas químicas* de composición y las *ecuaciones químicas*. Igualmente dominó la aplicación de los conceptos de *valencia química*, las *fórmulas estructurales* y las *ecuaciones químicas estructurales*, con algunas irregularidades en la representación estructural, las cuales fueron tratadas en las secciones de asesoría para mejorar su incorporación conceptual. Por todo lo anterior, es posible considerar que Alejo alcanzó un aprendizaje significativo conceptual sobre los conceptos contemplados en la categoría uno y dos.

Los conceptos referidos a la categoría tres, como en los casos anteriores, son los más difíciles de usar correctamente; Alejo confundió a veces los pares de *electrones libres* con las cargas eléctricas, ya que muchas veces son de éstas donde se origina la representación del movimiento en los mecanismos de reacción, sin embargo, no tuvo problema al utilizar las *cargas eléctricas*, las identificó, las asignó e incluso, las reasignó en la resonancia molecular. Dio un buen significado a la polaridad en todos los problemas tratados.

Como ya hemos dicho, por no disponer de tiempo los conceptos pertenecientes a la categoría 5, no fueron utilizados ampliamente en el proceso de resolución de problemas, sin embargo, en todas las oportunidades Alejo mostró un uso adecuado de los mismos. Así mismo, implementó conceptos de forma coherente y pertinente en situaciones de *conformaciones, orbitales y estereoquímica*, mejor que sus otros compañeros.

En general, Alejo dio un significado correcto a los conceptos propios de la reactividad química, dando respuestas apropiadas a los problemas. Implementó sin dificultad los nuevos signos y representaciones aprendidos, experimentando evolución paulatina en el lenguaje químico, lo que reconocimos como una evidencia de aprendizaje significativo subordinado, puesto que la asimilación de los nuevos significados está asociado a conceptos existentes y relacionables. Su evolución fue notoria al comparar el inicio con el final de la intervención; comenzó con un dominio de comprensión conceptual ubicado en el nivel tres, a la mitad del proceso progresó al nivel 4 y aunque al final del proceso de enseñanza siguió en este nivel, incrementó el puntaje. Alejo, según nuestra interpretación, es permeable a la asimilación de significados, además siempre ha estado en los lugares más altos en el desempeño de la clase.

Caso Niko

Niko es un joven de carácter fuerte, extrovertido y amable, decidió participar en el proyecto de investigación, aunque con poca seguridad pues consideraba que el tiempo que debía invertir limitaría otras de sus actividades académicas. De todas formas, siempre estuvo comprometido, participó en todas las sesiones y actividades con preguntas y aportes sin una sola ausencia y asumió la responsabilidad de su aprendizaje.

Al final puede ser considerado como el estudiante que mejor logró la asimilación y uso de conceptos en la resolución de problemas.

Después de analizar su participación en todas las actividades y respuestas a los problemas, concluimos que Niko logró un grado alto de comprensión, experimentando desde el inicio un avance constante en las representaciones a través del lenguaje químico. Representó adecuadamente en todos los casos conceptos fundamentales, como los *símbolos químicos, fórmulas de composición, ecuaciones químicas, valencia química, fórmulas estructurales y ecuaciones químicas estructurales*, por lo que alcanzó un aprendizaje significativo conceptual y combinatorio sobre los conceptos referidos a la categoría uno.

En lo referente a la categoría 3 encontramos un comportamiento particular frente a la asignación de los pares de electrones libres, pues en múltiples oportunidades no los representó a pesar de ser solicitados explícitamente por el profesor. Niko argumentó que solo los dibujaba cuando fuese necesario, lo que con el transcurrir de las intervenciones adquiriría una postura desafiante. A pesar de que el profesor/investigador intentó convencerle para que considerara los electrones libres, no logró que el estudiante aceptara dibujarlos en todas las oportunidades; no obstante, dado el dominio conceptual que presentaba al resolver los problemas, se pudo concluir que Niko tenía el conocimiento necesario para hacer un uso adecuado de los mismos. Por lo cual, concluimos que los conceptos de la categoría 3 son de dominio completo con déficit en relación a su transferencia como componente esencial en los mecanismos de reacción.

Niko utilizó correctamente los conceptos *aniones y cationes, cargas eléctricas y polaridad* en los mecanismos de reacción durante la resolución de problemas, indicativo de un aprendizaje significativo proposicional y conceptual.

Su uso de la *notación de Robinson* y planteamiento de *mecanismos de reacción* fue adecuado, logró proponer soluciones a los 20 problemas, aunque algunas de ellas fueron incompletas. De acuerdo con los datos obtenidos a través de los instrumentos utilizados, se consideró que Niko comprendió los conceptos, los principios y estableció razonamientos coherentes con la resolución de problemas en este contexto; es cierto que cometió errores, algo natural en el proceso de aprendizaje, pero los supo sortear gracias al diálogo y su compromiso por aprender.

Niko utilizó la *geometría molecular*, concepto de la categoría 5, de forma correcta, y únicamente en el problema 19 implementó la representación espacial junto a los conceptos conformación y estereo química sin lograr alcanzar la solución completa del problema.

Por último, del análisis del dominio del uso del lenguaje químico realizado con Niko destacamos que alcanzó el nivel 4, obteniendo 39 puntos de un máximo 44, lo que confirma que llegó a apropiarse correctamente del lenguaje químico. Así mismo, partiendo de un nivel 3 en el dominio de comprensión conceptual, progresó al nivel 4 a mitad de la enseñanza y se mantuvo en este nivel hasta el final de la intervención, con el mejor puntaje (14 puntos), muy cerca del máximo de calificación.

En consecuencia, se puede afirmar que fue importante la evolución de significados que Niko desarrolló sobre los mecanismos de reacción, respondiendo a todos los problemas y obteniendo soluciones correctas en la mayoría de los ejercicios propuestos.

Caso Carlos

Carlos es una persona callada, respetuoso, amante de la música, decidió participar en el proyecto de investigación de forma voluntaria; aunque no se comprometió con todas las actividades y clases, participó de la mayor parte de las sesiones programadas.

Del análisis de las respuestas de Carlos a los problemas podemos decir que se comprometió en lograr la comprensión, a pesar de no realizar un alto esfuerzo. Sobre los conceptos de la categoría uno, evolucionó en sus representaciones a través del lenguaje químico, salvo en los *símbolos químicos* que mostró una representación inadecuada. Al final de la enseñanza logró un aprendizaje significativo conceptual en esta categoría.

Durante el desarrollo de la intervención se observó la asignación inadecuada que Carlos hizo sobre las *fórmulas estructurales* de algunos reactivos y productos, fundamentalmente *desconexiones estructurales*, las cuales no alteraban el significado de la *valencia química* de los compuestos. Los demás conceptos de la categoría 2 presentaron pocas asignaciones impropias o inexistentes, vislumbrando un aprendizaje significativo representacional.

La asignación de *pares de electrones libres* fue el concepto con mayores dificultades para Carlos, apenas lo utilizó y no se comprometió en su aprendizaje. A pesar de la insistencia y recomendaciones realizadas por el profesor de incluirlos en los mecanismos de reacción y fórmulas químicas, jamás consiguió hacerlo satisfactoriamente. Carlos optó por utilizar cargas eléctricas negativas en sustitución de los pares de electrones libres en los mecanismos de reacción, aunque cuando se le solicitó explícitamente reconocía la ubicación y el número que se debían asignar. No obstante, consideramos que sin el significado e importancia que los pares de electrones libres tienen en su notación, será muy difícil avanzar con éxito en el estudio de mecanismos de reacciones más complejos.

No utilizó el concepto *aniones y cationes* en cuatro respuestas; sin embargo, sí utilizó correctamente las *cargas eléctricas y polaridad* en moléculas, al responder correctamente cuestiones donde aparecen involucradas. En esta categoría Carlos adquirió un aprendizaje significativo proposicional.

Respecto a la *notación de Robinson* y el planteamiento de *mecanismos de reacción*, evidenció situaciones donde su uso fue inadecuado o incompleto, normalmente pasando de una etapa a la otra sin utilizar la respectiva representación; aun así, fue capaz de llegar a respuestas adecuadas que fueron justificadas oralmente en las revisiones y puesta en común con los demás estudiantes. Esto indica que Carlos comprende los principios y la lógica del razonamiento químico, los errores en la resolución de problemas fueron identificados por el grado de dificultad de los mismos. De lo anterior, se puede afirmar que la evolución de significados atribuidos a los mecanismos de reacción no fue completa, situación que desencadena en un desempeño sin exigencia personal por alcanzar la asimilación de conceptos, además de poder transmitirlos.

Los cuatro conceptos de la categoría 5 solo fueron tratados parcialmente, apenas fueron utilizados en el proceso de resolución de los últimos problemas; únicamente usó adecuadamente la *geometría molecular*.

Carlos evolucionó en el uso del lenguaje químico ligeramente, logrando una puntuación indicativa de que llegó al nivel 3, obteniendo su mejor desempeño en la categoría '*interpretar* la información gráfica', proveniente de representaciones

estructurales y de conectar palabras en frases con contenido del lenguaje natural y químico (ver tabla 6.21).

Durante el proceso, Carlos sostiene un incremento medio en la apropiación de conceptos; en la indagación preliminar logró una calificación del 68% (la más alta de los seis casos), y la mantuvo durante el desarrollo de la enseñanza, indicando un compromiso neutral que favorece poco una asimilación de conceptos, los cuáles si bien es cierto, los aplicó apropiadamente en la resolución de problemas. Apenas experimentó progresión en el dominio de la comprensión conceptual, manteniéndose en el nivel 3, aunque con un incremento leve en la puntuación establecida para este nivel, pero sin lograr al nivel 4. El grado de aprendizaje significativo se encuentra entre representacional y proposicional, teniendo potencial suficiente para llegar a grados mayores si asumiera un compromiso mayor por aprender o quizá acceder a una metodología que estimule mucho más su interés.

7.2 Preferencia y nivel de dificultad según los enunciados de problemas

Se intenta en este apartado dar respuesta a la problemática formulada en la tercera cuestión, relativa a la dificultad que encuentran los estudiantes en la resolución de problemas según el número de conceptos que incluyen los enunciados y sus relaciones. De acuerdo a los análisis realizados se pone de manifiesto que resolver problemas, como actividad cotidiana en las aulas de clase, potencia la adquisición y asimilación de conceptos. Se encontró que los enunciados con un número alto de conceptos químicos y relaciones entre ellos, en función del lenguaje químico utilizado, no son más difíciles de resolver que los enunciados con pocos conceptos químicos y escasa información textual en función del lenguaje natural. Esto se puede evidenciar en cada un de los seis casos estudiados.

La correcta resolución de los problemas depende del grado de conceptualización del estudiante, es decir, del nivel de comprensión de los conceptos implicados en la respuesta al problema; los estudiantes que han adquirido un mayor compromiso por aprender significativamente y han dedicado mayor esfuerzo, constancia y acompañamiento están igualmente capacitados para resolver cualquiera de los dos tipos de problemas propuestos. La anterior afirmación es consecuente con lo encontrado por Flynn y Featherstone (2017):

La percepción de los estudiantes y el uso de símbolos y representaciones dependerán de sus asociaciones con el conocimiento existente, el significado que atribuyen al lenguaje, la carga cognitiva asociada y otros factores (p. 66).

Sin embargo, se encuentra una situación diferente respecto a sus manifestaciones sobre la ‘preferencia’ de tipos de enunciados. En nuestro estudio cuatro de los seis estudiantes analizados se inclinaron siempre por los enunciados con alto número de conceptos químicos y relaciones entre ellos, pero también hay que decir que tampoco criticaron abiertamente los textos carentes o con pocos conceptos químicos, ya que también fueron resueltos en las actividades y tareas propuestas. Solo un estudiante prefirió los enunciados cortos frente a enunciados extensos.

Al comparar los enunciados de los problemas propuestos, los estudiantes de los Casos mencionaron una sola característica que para ellos afecta al grado de dificultad de resolución de los mismos, que es la ausencia o presencia de las fórmulas químicas estructurales en los enunciados. Los problemas que omitían esta información fueron criticados, señalando que eran más difíciles de resolver. En consecuencia, para los estudiantes es crucial esta información en la resolución de problemas.

El lenguaje químico, que adquiere ‘mayor calidad’ en las representaciones, nuevos símbolos, y palabras químicas, depende de la asimilación de conceptos y representaciones internas que posee el sujeto. Estamos de acuerdo con Vitgosky, cuando menciona que la adquisición del lenguaje constituye el momento más significativo en el desarrollo cognitivo. Nosotros encontramos que los mejores resultados en cuanto a la resolución de problemas los lograron los estudiantes que mejor dominio mostraron en el momento de la apropiación de signos y significados químicos introducidos durante la enseñanza, ratificando nuevamente el principio del Aprendizaje Significativo Crítico del conocimiento como lenguaje, “cada lenguaje, tanto en términos de su léxico como de su estructura, representa una manera singular de percibir la realidad” (Moreira, 2010, p12).

Por lo tanto, la comprensión del enunciado favorece la resolución reflexiva del problema. Esta conclusión se relaciona con el análisis obtenido por Flynn y Featherstone (2017, p.66) en su investigación al comentar: “en principio, si los estudiantes son ‘fluidos’ en el lenguaje de la química, deberían tener menores demandas de carga cognitiva y estarán en posición de analizar con mayor profundidad las reacciones subsiguientes”. Galloway, Stoyanovich y Flynn (2017) coinciden con tal afirmación.

Puede afirmarse, que a medida que avanza la enseñanza y el aprendizaje hay una evolución en la comprensión de los enunciados, pues cada nueva experiencia aporta nuevas y mejores relaciones entre significados y elementos de representación propios del lenguaje químico y, dado que en la secuencia de los problemas propuestos se incrementaba el grado de dificultad de su resolución, implica que cada oportunidad para resolver problemas sea más demandante conceptualmente, lo que significa una estructura cognitiva más diferenciada e integradora, todo ello favorable para el aprendizaje significativo.

7.3 Consideraciones conclusivas

Para concluir, se intenta hacer una valoración integrada y conclusiva insistiendo en aquellas regularidades que comparten los seis estudiantes participantes en la investigación.

Se constata que a medida que se avanza en la resolución de problemas los estudiantes se sienten más seguros al abordarlos, puesto que disponen de más habilidades y conocimientos. Al comienzo de la enseñanza, para los problemas de reactividad química, los estudiantes preguntaban si podían utilizar la calculadora, reconociendo implícitamente que tenían inclinación por interactuar con problemas algorítmicos, muy habituales en los demás cursos de su formación universitaria. Sin embargo, al final del proceso de enseñanza, los estudiantes prefirieron por igual los problemas que se resolvían aplicando un algoritmo (para el curso de Química Analítica) que aquellos que requerían una reflexión conceptual. Así podemos resaltar que: *el desarrollo del lenguaje químico, la comprensión conceptual y las distintas estrategias que utilizaron en la resolución de los problemas durante el proceso de enseñanza y aprendizaje les ayudó mucho a analizar los enunciados y establecer la planificación de la resolución.*

Durante la resolución de problemas, los estudiantes hablaron sobre el movimiento de electrones, *ruptura* de enlaces, ‘ataques’ (término asociado a la formación de un nuevo enlace) e indicaban que las flechas curvas eran el camino que seguían los electrones hacia la formación de enlaces. *Esto evidencia apropiación de términos del lenguaje químico y les han dado significado en el contexto de la reactividad química acorde con la instrucción recibida.* Además la posibilidad de utilizar y representar el conjunto de conceptos clasificados según nuestras categorías (1-5), es una evidencia de

los avances hacia la comprensión de los mecanismos de reacción. Además, los intentos de los estudiantes por resolver problemas permitieron interpretar que, sin llegar a la solución correcta, disponían de conocimientos químicos relevantes y mostraban habilidades suficientes para seguir progresando a una resolución exitosa de otros problemas.

Se constata que los estudiantes de los seis Casos *apenas evolucionaron en la notación de pares de electrones libres, solo cuatro los utilizaron en algunos problemas*. Tal reflexión, remite a una conclusión formulada por Flynn y Featherstone (2017) quienes, después de analizar los resultados de su investigación con 399 estudiantes, indican que:

Algunas puntuaciones bajas alcanzadas por los estudiantes pueden reflejar problemas en el uso del simbolismo o problemas de comprensión conceptual; por ejemplo, señalan que las calificaciones obtenidas por los estudiantes podrían haber sido más altas, en todos los pasos de reacción del conjunto de problemas evaluado, si hubieran dibujado los electrones no enlazantes (pares solitarios) (p.71).

Esto refuerza nuestra idea de lo atenta que debe ser la notación de los ‘pares de electrones libres’ en la representación química de mecanismos de reacción. Estamos de acuerdo con los autores cuando indican que dibujar los electrones libres ayuda indiscutiblemente a resolver mejor los problemas.

Tras indagar posibles factores que inducen a la no representación de signos químicos, se advierte una falta de unidad académica entre los docentes, ya que no promueven la importancia que tiene una buena notación química y, en especial, los pares de electrones libres son símbolos químicos parcialmente usados en las clases de reactividad química. Aunque es un concepto pormenorizado, solo se presenta y valora al introducir las estructuras de Lewis y las geometrías moleculares, pero luego no es utilizado regularmente en las clases y en muchos de los libros de texto, lo cual dificulta su asimilación por los estudiantes.

Otra fuente importante de errores fue *la dificultad de representar grupos funcionales implícitos en las fórmulas estructurales*; algunos estudiantes podrían haber pensado en ellos mentalmente y no representarlos, lo que indicó su carencia en el proceso.

Se dibujaron pocas flechas curvas en sentido inverso (notación de Robinson), de regiones positivas o deficientes de electrones a regiones ricas en electrones. Lina y Carlos fueron los protagonistas solo en un par de los primeros problemas. En algunos casos las flechas partieron desde un átomo con déficit de electrones, en lugar de dibujarlas desde los electrones libres, o también desde una carga negativa. Esta última forma de dibujar las flechas curvas es comúnmente aceptada en la comunidad de químicos orgánicos, sin embargo, en nuestro caso no lo consideramos del todo correcto, pues se aleja del objetivo de un aprendizaje significativo y crítico, pretensión de este estudio.

No obstante, el hecho de encontrar pocas flechas curvas sin sentido y pocos errores ilógicos en las representaciones químicas, sugiere que los estudiantes atribuyen el significado de movimiento de electrones, formación y ruptura de enlaces, representados por flechas curvas. Significa que la representación química de los mecanismos de reacción es significativa para los estudiantes en muchos contextos de la resolución de problemas.

Fue importante reconocer que *el uso de representaciones detalladas por parte del profesor en la pizarra en el momento de resolver problemas en el aula de clase, poseen un efecto positivo en los estudiantes*. Estos intentaron reproducir dichas representaciones (símbolos químicos, ángulos de enlace, flechas curvas, cargas iónicas, entre otros), y a modo de reflejo aprendieron a realizarlas y a ser cuidadosos con la notación simbólica del lenguaje químico, por lo cual, se recomienda hacer de esto una práctica habitual de los profesores. La misma apreciación a modo de sugerencia fue señalada por Anderson y Bodner (2008).

La información contenida en los problemas fue utilizada sin ninguna queja, tanto en los enunciados con alto contenido de conceptos químicos y relaciones entre ellos o en los que solo aportaban información básica o indicaban “completar la reacción”. La única demanda explícita por los estudiantes fue respecto a la información estructural, todos los problemas que carecían de este tipo de representación fueron siempre catalogados de mayor dificultad sin explicitar la dependencia del texto del enunciado.

Todos los estudiantes utilizaron adecuadamente las cargas eléctricas, asignación de aniones, cationes y polaridades en la mayor parte de los problemas, excepto Lina en

el primer problema. Por tanto, estos conceptos no presentaron dificultades en su asignación y significado, sin embargo, la experiencia del investigador con otros estudiantes del mismo nivel no concuerda con este resultado observado en los seis Casos.

En base a la experiencia didáctica realizada pensamos que *un buen dominio del lenguaje químico no es sinónimo de una buena resolución de problemas*. El dominio conceptual completo sobre problemas de reactividad química de mecanismos de adición nucleofílica de aldehídos y cetonas incluye, además de un adecuado significado del lenguaje químico, otras consideraciones conceptuales que deben ser aprendidas y luego explicitadas, tales como: relacionar conceptos, hacer inferencias de similitudes químicas, proponer alternativas de síntesis, entre otras. Por lo tanto, aprender de forma significativa los temas de reactividad química implica interiorizar los significados aceptados y construidos por una comunidad científica mediante la apropiación simultánea de instrumentos y signos propios del lenguaje químico, introducidos en las clases y luego compartidos.

A modo de ejemplo sobre lo mencionado en el párrafo anterior, del análisis de las entrevistas realizadas a Cata sobre su comprensión y conceptualización científica, identificamos que disponía de un apropiado dominio de la notación química y asignación de significados sobre los términos y símbolos del lenguaje, pero solo resolvió adecuadamente cuatro de los 20 problema; esto quiere decir que algunas falencias conceptuales difíciles de reconocer le impedían relacionar los conceptos como conjunto y generar una estrategia para alcanzar el logro propuesto. Esta afirmación concuerda con Solaz et al. (1995) cuando expresan que “una adecuada resolución de problemas depende, entre otras cosas, de la existencia de un conocimiento conceptual apropiado” (p.27).

En el momento de resolver problemas, Lina y ocasionalmente Cata mostraron una comprensión superficial del tema de trabajo; si bien eran capaces de escribir adecuadamente la notación química, fueron incapaces de establecer relaciones más avanzadas entre conceptos. Conocían algunas de las reglas fundamentales, las aplicaban con moderación y se quedaron con una comprensión relativamente pobre de los conceptos, no experimentando apenas avance.

Dentro de las limitaciones encontradas hay que señalar que la categoría cinco durante la intervención fue incompleta. Los problemas alusivos a sus contenidos conceptuales no fueron resueltos por todos los estudiantes, probablemente al estar ubicados al final de la intervención y tener mayor grado de dificultad. Esto se debe reconocer como un error en el planteamiento metodológico y secuencial propuesto por el investigador, lo cual debe ser mejorado en un futuro proyecto. El problema número 20 solo fue resuelto por Niko e intentado por Carlos, todos los demás mencionaron que la información contenida en el enunciado era comprensible, pero en la estructura donde dependían algunas etapas de otras, radicaba la dificultad de su resolución. “Hay que tener claros todos los conceptos para poder resolverlo”, mencionó Dani.

La investigación ha permitido *reconocer las dificultades que tienen los estudiantes en la notación química asociada a la resolución de problemas en los mecanismos de reacción de adición nucleofílica al grupo carbonilo*. Estas dificultades incluyen la conexión entre la teoría de Brønsted-Lowry, la teoría de Ácido-Base de Lewis, y otros conceptos como: la hibridación, la identificación de nucleófilos y electrófilos, los efectos inductivos y estéricos, entre otros.

Los resultados de este estudio *indican que el lenguaje natural que los estudiantes usan para hablar y referirse sobre los símbolos del lenguaje químico es muy diverso*; fueron utilizadas diferentes palabras para describir concepciones similares, donde la elección de estas podría estar influyendo en la comprensión de los significados que comparte la comunidad científica. Es indispensable que los profesores pongan gran atención en el uso de los términos y sobre cuál lenguaje es el apropiado, destacando las limitaciones del lenguaje natural, para favorecer en los estudiantes principiantes una adecuada interpretación de contenidos y conceptos en el aprendizaje de los mecanismos de reacción en Química Orgánica.

Un dominio del lenguaje químico se alcanza con una conciencia semántica del mismo, la importancia de la notación química y los significados. Expresándolo con otras palabras: “Si los estudiantes deben entender el nivel submicroscópico, necesitan un entendimiento y fluidez en el nivel simbólico y una habilidad para conectar los niveles submicroscópico y macroscópico” (Johnstone, 2000; Gilbert y Treagust, 2009, citados por Flynn y Featherstone, 2017, p. 75).

Muchos de los expertos coinciden en que el uso de una adecuada representación química ayuda a un razonamiento mecanicista al utilizar la notación de flechas curvas, fórmulas estructurales, pares de electrones, cargas eléctricas y demás, lo que lleva a la posibilidad de explicar y predecir los resultados de los procesos químicos reales (Galloway et al., 2019 y 2017, Bhattacharyya, 2013 y Grove et al., 2012a). Esta investigación ha aportado una posible metodología para rastrear dichos conceptos en el aula de clase, lo que promueve un beneficio al usar un pensamiento basado en los mecanismos de reacción en la resolución de problemas, a pesar de las dificultades que puedan presentar los estudiantes para explicitarlos.

7.4 Implicaciones para la enseñanza y aprendizaje de la Química

El aprendizaje de la química está lleno de continuos contextos, cada día son reportadas nuevas sustancias y metodologías de síntesis y de purificación, acordes con el desarrollo y necesidades humanas de conocimiento. Los estudiantes se preparan para afrontar estas exigencias del medio, para lo cual se hace necesario un acoplamiento conceptual. Nuevas cuestiones que impliquen nuevas tareas merecen ser introducidas en los enunciados de los problemas para que sean abordadas por los estudiantes, en particular aquellas que buscan relaciones conceptuales alejadas de los tradicionales estudios que involucran el empleo de algoritmos.

La investigación en el Estudio de Casos implica entender un poco el comportamiento, reconocer que un día de intervención para el investigador puede ser un mal día para el investigado y, por ende, para la investigación. Lidar con condiciones adversas de muchos tipos, inasistencias, hambre, sueño, sueños, ser humano; editar apreciaciones, realizar análisis y descripciones algunas veces sesgadas; es afrontar nuevas reglas, ajustarse con el propósito de salir victoriosos, escribir un reporte que ayude a la comprensión del otro.

Se advierte que no es suficiente con los esfuerzos realizados por los profesores en los cursos de Química Orgánica uno y dos, para alcanzar un dominio en el uso del lenguaje químico y de la intención de propiciar un aprendizaje significativo y crítico. Para lograr tal éxito, *la tarea se debe extender a todos los cursos, profesores, personal administrativo y en general a toda la comunidad universitaria*. Este comentario concuerda con lo expuesto por Anderson y Bodner (2008) y Galloway, Leung, y Flynn (2019)

Se ha encontrado que muchos colegas, particularmente en la Facultad de Ciencias Naturales, distan de posturas reflexivas, de un compromiso consistente por el trabajo junto al estudiante, de una postura crítica del aprendizaje, ser uno mismo (profesor) pero al mismo tiempo estar en la postura del otro (aprendiz), lo que implica que necesitamos ofrecer metodologías para ayudar a nuestros alumnos a solucionar problemas y a convertirse en químicos sobresalientes. En el contexto de los mecanismos de reactividad química, significa ayudar a los estudiantes a reconocer los conceptos, principios, y la interpretación y representación de símbolos del lenguaje químico que se encuentran detrás de cada paso en la resolución de problemas.

Recomendamos, al igual que Ver Beek y Louters (1991), Heyworth (1999), Huddle y Pillay (1996), Merino y Herrero (2007), Anderson y Bodner (2008) y Surif, Hasniza y Fairuz (2014), hacer un mayor esfuerzo para mejorar la comprensión conceptual, además de considerar las estrategias usadas por estudiantes y expertos, y promover la práctica de resolución de problemas junto al trabajo en pequeños grupos.

Es importante que los profesores insistamos continuamente en las propiedades fundamentales de las sustancias en el contexto de la reactividad química, que permitan a los estudiantes distinguir entre sus comportamientos; por ejemplo, un reactivo actúa como un nucleófilo en lugar de como una base, un reactivo actúa como un agente oxidante o reductor, la sustancia en cuestión es aceptora o donadora de densidad electrónica, el reactivo actúa como un ácido o base. Estas cuestiones se discuten con frecuencia al comienzo de los primeros semestres y los profesores consideramos que han sido aprendidas, pero olvidamos que necesitan ser reforzadas constantemente en el contexto de los nuevos mecanismos de reacciones, de los nuevos grupos funcionales y ante nuevos problemas.

Hay que potenciar la reflexión intencionada puesto que “nunca es demasiado para insistir en los conceptos” (Vergnaud, 1990). Se requiere de profesores comprometidos con la enseñanza y el aprendizaje de la química; la conformación de una unidad académica entre pares es fundamental para favorecer la adquisición y posterior utilización del lenguaje químico, poderosa herramienta para la mediación de conceptos propios de la Ciencia Química entre profesores y estudiantes, en su entorno social académico.

Por último, destacar que sería importante promover investigaciones con otros grupos de estudiantes y de diferentes ambientes escolares con el fin de encontrar el grado de validez externa de los resultados de la presente investigación.

Finalmente, se presenta en la figura 7.1 el diagrama de “V” epistemológica para la investigación abordada en esta tesis.



Figura 7.1. Diagrama “V” de la investigación realizada en esta Tesis.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzate, M. V., Restrepo, C. & Moreno, L. F. (2001). Fórmulas estructurales: Un aprendizaje significativo en Química. *Memorias XII Congreso Colombiano De Química*
- Alzate, M. V. (2002). Aprendizaje significativo del sistema periódico en Química. *Encuentro Regional De Ciencia y Tecnología, Región Antioquia, Colciencias, 255-257.*
- Alzate, M. V. (2004). Sistema periódico de los elementos químicos, progreso conceptual y didáctica, *Tea, Tecne, Episteme y Didaxis, 15, 48-62.*
- Alzate, M. V. (2007). Tesis Doctoral. *Campo conceptual composición/estructura en Química: tendencias cognitivas etapas y ayudas cognitivas.* Burgos: Universidad de Burgos.
- Alzate, M. V. (2008a). *Manual de semillero de Química II. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto de Química.* Medellín: Universidad de Antioquia.
- Alzate, M. V. (2008b). *Diplomado en Ciencias Naturales.* Medellín: Universidad de Antioquia.
- Amaya, J. (2002). *El docente de lenguaje.* Bogotá: Limusa Noriega Editores.
- Anderson, T. L., & Bodner, G. M. (2008). What can we do about ‘Parker’? A case study of a good student who didn’t ‘get’ organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice, 9(2), 93-101.*
- Arnal, J., Rincón, D. & Latorre, A. (1992). *Investigación educativa: fundamentos y metodologías.* Primera Edición. Barcelona: Editorial Labor, S.A.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view.* New York, Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel, D. P. (1976). *Psicología educativa. Una perspectiva cognitiva.* Trillas. México, 37.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Henesian, H. (1983). *Psicología Educativa un Punto de Vista cognoscitivo.* México: Editorial Trillas.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento Una perspectiva cognitiva.* Barcelona: Editorial Paidós.

- Azcue, D., Diez, M., Lucanera, V. & Scandroli, N. (2003). Resolución de problemas de Química: analizando dificultades en la comprensión de un enunciado. *Revista Iberoamericana de Educación*. (15).
- Bachelard, G. (1976). *El Materialismo racional*. Buenos Aires: Editorial Paidós.
- Bhattacharyya, G., & Bodner, G. M. (2005). " It gets me to the product": How students propose organic mechanisms. *Journal of chemical education*, 82(9), 1402.
- Bhattacharyya, G. (2013). From source to sink: mechanistic reasoning using the electron-pushing formalism. *Journal of Chemical Education*, 90(10), 1282-1289.
- Bhattacharyya, G. (2014). Trials and tribulations: student approaches and difficulties with proposing mechanisms using the electron-pushing formalism. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 594-609.
- Bodner, G. M., & Domin, D. S. (2000). Mental models: The role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education*, 4(1).
- BouJaoude, S., Salloum, S., & Abd-El-Khalick, F. (2004). Relationships between selective cognitive variables and students' ability to solve chemistry problems. *International Journal of Science Education*, 26(1), 63-84.
- Bowen, C. W. (1990). Representational systems used by graduate students while problem solving in organic synthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(4), 351-370.
- Clayden, J., Greeves, N., Warren, S., & Wothers, P. (2001) *Organic Chemistry*. New York. Oxford University Press Inc.
- Costa, S. & Moreira, M. A. (2001). A Resolução de Problemas como un Tipo Especial de Aprendizagem Significativa. *Caderno Catarinense de Ensino de Ciências*, 18(3), 263-277
- Cooper, M. M., Grove, N., Underwood, S. M., & Klymkowsky, M. W. (2010). Lost in Lewis structures: An investigation of student difficulties in developing representational competence. *Journal of Chemical Education*, 87(8), 869-874.
- Crute, T. & Myers, A. (2007). Sudoku Puzzles as Chemistry Learning Tools. *Journal of chemical education*, 84(4), 612-613.
- Darling, L. (2009). "Teaching and Learning for the 21st Century". *Plenary Session #1. Narst-2009 Conference*. Garden Grove, USA.

- De Jong, O. (1996). La investigación activa como herramienta para mejorar la enseñanza de la Química: Nuevos Enfoques. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 279-288.
- Del Valle, C. & Curotto, M. (2008). La resolución de problemas como estrategia de enseñanza y aprendizaje. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(2).
- De Zubiría. (2007). *La solución de problemas*. Madrid: Editorial Santillana.
- Eastwood, M. (2013). Fastest Fingers: A molecule-building game for Organic Chemistry. *Journal of chemical education*, 90(8), 1038-1041.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An emerging field with implications for Chemistry Education. *Science & Education*. 10(6), 581-593.
- Erickson, F. (1989). Métodos cualitativos de investigación sobre la enseñanza. *La investigación de la enseñanza*. Barcelona: Editorial Paidós.
- Ferguson, R., & Bodner, G. M. (2008). Making sense of the arrow-pushing formalism among chemistry majors enrolled in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*. 9(2), 102-113.
- Flynn, A. B., & Ogilvie, W. W. (2015). Mechanisms before reactions: a mechanistic approach to the organic chemistry curriculum based on patterns of electron flow. *Journal of Chemical Education*, 92(5), 803-810.
- Flynn, A. B., & Featherstone, R. B. (2017). Language of mechanisms: exam analysis reveals students' strengths, strategies, and errors when using the electron-pushing formalism (curved arrows) in new reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 64-77.
- Fowler, B. (2002). *La taxonomía de Bloom y el pensamiento crítico*. Gabriel Piedrahita U. Foundation Published, 1-4.
- Galagovsky, L. (2005). La enseñanza de la Química Preuniversitaria: ¿Qué enseñar, cómo, cuánto, para quiénes?. *Química Viva*. 1, 8-22.
- Galagovsky, L. (2007). Enseñar Química vs. aprender Química: una ecuación que no está balanceada. *Química Viva*. 6, 1-13.
- Galloway, K. R., Stoyanovich, C., & Flynn, A. B. (2017). Students' interpretations of mechanistic language in organic chemistry before learning reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(2), 353-374.

- Galloway, K. R., Leung, M. W., & Flynn, A. B. (2019). Patterns of reactions: a card sort task to investigate students' organization of organic chemistry reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 20 (1), 30-52.
- Gangoso, Z. (1999). Investigaciones en Resolución de Problemas en Ciencias. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*. 4 (1), 7-50.
- García, J. (2000). La Solución de Situaciones Problemáticas: una Estrategia Didáctica para la Enseñanza de la Química. *Enseñanza de las Ciencias*. 18 (1), 113- 129.
- Garduño, G. & Vierna, L. (2005). Propuesta Didáctica para el Aprendizaje Significativo de Procesos Redox de Compuestos Orgánicos. *Enseñanza de las ciencias*, Número Extra. VII Congreso de enseñanza de las ciencias.
- Garritz, A. & Chamizo, J. A. (1994). Chemistry Teaching Through the Students World, *Journal of Chemical Education*. 71, 143-145.
- Garritz, A. & Irazoque, G. (2004). El Trabajo Práctico Integrado con la Resolución de Problemas y el Aprendizaje Conceptual en la Química de Polímeros. *Alambique Didáctica de las ciencias experimentales*. 39, 40-5.
- Garritz, A. (2005). Resolución de Problemas. *Educación Química*. 16(2). 218- 220.
- Gómez, H. (1998). Educación: la agenda del siglo XXI. Hacia un desarrollo humano. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. PNUD. TM Editores.
- Gómez, M., Pozo, J. J., & Sanz, A. (1995). Students' Ideas on Conservation of Matter: Effects of Expertise and Context Variables. *Science & Education*, New York 79(1), 77-93.
- Grove, N. P., Cooper, M. M., & Cox, E. L. (2012a). Does mechanistic thinking improve student success in organic chemistry? *Journal of Chemical Education*, 89(7), 850-853.
- Grove, N. P., Cooper, M. M., & Russh, K. M. (2012b). Decorating with arrows: Toward the development of representational competence in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*. 89 (7), 844-849.
- Heyworth, R. M. (1999). Procedural and Conceptual Knowledge of Experts and Novice Students for the Solving of a Basic Problem in Chemistry. *Internacional Journal of Science Education*. 21 (2), 195-211.
- Hoffmann, R. (1997). *Lo Mismo y No lo Mismo*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Huddle, P. & Pillay, A. E. (1996). An In-depth Study of Misconceptions in Stoichiometry and Chemical Equilibrium at a South Africa University. *Journal of Research in Science Teaching*. 33 (1), 65-77.
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la Enseñanza de la Química: contextualizar y modelizar. *J. Argent. Chem. Soc.* 92 (4-6), 115 - 136
- Jacob, C. (2001). Analysis and Synthesis, Interdependent Operations in Chemical Language and Practice Hyle. *International for Philosophy of Chemistry*, 7 (1), 31-50.
- Jensen, W. (1998a). Logic, History, and the Chemistry Textbook, I, Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of chemical education*. 75 (6), 679-685.
- Jensen, W. (1998b). Logic, history, and the chemistry textbook II, Can we Unmuddle the Chemistry Textbook? *Journal of chemical education*. 75(7), 817-828.
- Jensen, W. (1998c). Logic, history, and the chemistry textbook III, One Chemical Revolution or Three? *Journal of chemical education*. 75(8), 961-969.
- Jiménez, M.P. & Sanmartí, N. (1997). *¿Qué ciencia enseñar?: objetivos y contenidos en la educación secundaria. La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria. Cuadernos de Formación del Profesorado*. Barcelona: ICE-Horsori Editorial.
- Kilpatrick, J. (1987). Problem formulating: Where do good problems come from. *Cognitive science and mathematics education*. 123-147.
- Kraft, A., Strickland, A. M., & Bhattacharyya, G. (2010). Reasonable reasoning: multivariate problem-solving in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(4), 281-292.
- Kuhn, T. (1971). *La Estructura De Las Revoluciones Científicas*, FCE, México.
- Lahore, A. (1993). Lenguaje literal y connotado en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. 11(1), 59-62.
- Lee, K. L. & Fensham, P. J. (1996). A General Strategy for Solving High School Electrochemistry Problems. *Journal of science education*. 8(5), 543-555.
- Lucci, M. A. (2002). Vygotsky's proposal: sociohistoric psychology. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 10(2), 137-148.
- Martínez, M. M. & Varela, M. P. (1997). La Interacción de las características cognitivas en la capacidad de los alumnos para resolver problemas de física. *Comunicación*

Presentada en el V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, Universidad De Murcia, España.

- Martínez, T. J., Gil, D., Becerra, L. C., & Gisasola, J. (2005). ¿Podemos mejorar la enseñanza de la resolución de problemas de “lápiz y papel” en las aulas de química y física?. *Educación Química*. 16(2), 230-245.
- Mason, D. S.; Sheld. F. & Crawle, F. E. (1997). Differences in Problem Solving by Nonscience Majors in Introductory Chemistry on Paired Algorithmic-Conceptual Problems. *Journal of research in science teaching*. 34(9). 905-923.
- Matos, J. (1995). *El Paradigma Sociocultural de Lev Vygotsky y su aplicación en la educación*. Heredia, Costa Rica: Universidad Nacional.
- Merino, M. & Herrero, F. (2007). Resolución de Problemas Experimentales de Química: una Alternativa a las Prácticas Tradicionales. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*. 6(3), 630-648.
- Ministerio de Educación Nacional (2010). Recuperado de https://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-86425_Archivo_pdf.pdf, octubre de 2018.
- Modak, B. (2004). La Resolución de Problemas Conceptuales y Comprensión de Conceptos. *Química. Rev. Chil. Educ. Cient.* 3(2) 63-68.
- Moll, L. (1993). *Vygotsky y la Educación* (2 E.) Buenos Aires: Aique.
- Morales, P. (1990). *El papel del lenguaje en el desarrollo cognoscitivo: anteposición de la perspectiva piagetiana frente a la perspectiva soviética*. Editorial Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico.
- Moreira, M. A., & Buchweitz, B. (1993). *Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceptuais eo Vé epistemológico*. Lisboa: Plátano.
- Moreira, M. A. (1995). *La Teoría del aprendizaje significativo de Ausubel, Monografías del grupo de enseñanza: Serie enfoques teóricos*, nº 10.
- Moreira, M., Caballero, C. & Rodríguez, M. (1997). Aprendizaje Significativo: un concepto subyacente. *Actas del encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*. Burgos, España. pp. 19-44. Traducción de M^a Luz Rodríguez Palmero.
- Moreira, M. A. (2000). *Aprendizaje Significativo: Teoría y Práctica*, Aprendizaje. Madrid: Visor.

- Moreira, M. A. (2002). Texto de Apoyo Número 14. *Investigación en Educación en Ciencias: Métodos Cualitativos*. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España; Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil.
- Moreira, M. A. (2004). Lenguaje y Aprendizaje Significativo. En *Aprendizaje Significativo: Interacción Personal, Progresividad y Lenguaje*, (2002). Burgos: Universidad de Burgos.
- Moreira, M. A. (2010). *Aprendizaje Significativo Crítico*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS.
- Moreira, M., Caballero, C. & Rodríguez, M. (2004). *Aprendizaje Significativo: Interacción Personal, Progresividad y Lenguaje*. Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos.
- Moreira, M. A. (2013). Primer Congreso de Profesores de Ciencias Naturales del Estado de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP, Sección Puebla de la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales, Puebla, México.
- Moreno, L. & Caballero, C. (2008). Estudio de los conceptos previos necesarios para un curso inicial del área de Química Orgánica, 2008, *Memorias XV Congreso Colombiano de Química*.
- Moreno, L., Hincapie, G & Alzate, M. (2014). Cheminoes: A Didactic Game To Learn Chemical Relationships Between Valence, Atomic Number, and Symbol. *Journal of Chemical Education*. 91(6), 872-875.
- Moreno, L., Alzate, M., Meneses, J. & Marin, M (2018). Build your model! Chemical language and building molecular models using plastic drinking straws. *Journal of Chemical Education*. 91(6), 872-875.
- Mullins, J. J. (2008). Six pillars of organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 85 (1), 83.
- Nakhleh, M. B. (1993). Are our students conceptual thinkers or algorithmic problem solvers? Identifying conceptual students in general chemistry. *Journal of Chemical Education*. 70 (1), 52-55.
- Narváez, L. (2009). Aprendizaje significativo de algunos conceptos químicos, a través de resolución de pProblemas. Cuarto Congreso internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias. *Tecné, Episteme y Didaxis: N°*. Extraordinario, 39-40.

- Nelson, D. J., Kumar, R., & Ramasamy, S. (2015). Comparing carbonyl chemistry in comprehensive introductory Organic Chemistry textbooks. *Journal of Chemical Education*. 92(7), 1171-1177.
- Niaz, M. (1995). Cognitive conflict as a teaching strategy in solving chemistry problems. A dialectic–constructivist perspective. *Journal of Research in Science Teaching*. 32(9), 959-970.
- Novak, J. (1988). *La solución de problemas*. Madrid: Editorial Santillana.
- Novak, J. (1991). Ayudar a los Alumnos a Aprender cómo Aprender. La opinión de un profesor investigador. *Enseñanza de las Ciencias*. 9, 215-228.
- Novak, J. & Gowin, D. B. (1988). *Aprendiendo a Aprender*. Barcelona: Ediciones Martínez Roca S. A.
- Noy, J. (2008). Aprendizaje significativo de conceptos de estequiometría inorgánica a partir de una unidad didáctica basada en la resolución de problemas. *IIEC*, (3), 105 - 114.
- Nurrenbern, S. C. & Pickering, M. (1987). Concept Learning Versus Problem Solving: is there a Difference? *Journal of Chemical Education*. 64(6), 508-510.
- Oñorbe, A., & Sánchez, J. (1996a). Dificultades en la enseñanza de aprendizaje de los problemas de Física y Química I. Opiniones de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*. 14 (2), 165-170.
- Oñorbe, A., & Sánchez, J. (1996b). Dificultades en la enseñanza de aprendizaje de los problemas de Física y Química I. Opiniones del profesor. *Enseñanza de las Ciencias*. 14(3), 251-260.
- Perales, F. J. (1998). La resolución de problemas en la didáctica de las ciencias experimentales, *Revista Educación y Pedagogía*. 10 (21), 119-143.
- Perales, F. J. & Cañal, P. (2000). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Valencia, Alcoy: Editorial Marfil.
- Perales, F. J., Álvarez, P., Fernández, M., García, J., & González, F. (2000). Resolución de problemas.
- Pérez, G. (1994). *Investigación Cualitativa: Retos e Interrogantes*. Madrid: La Muralla.
- Postman, P. N., & Weingartner, C. (1969). *Teaching as a subversive activity*. Delta.

- Profesores Instituto de Química UDEA. (2008) Material inédito, relacionado con la transformación curricular del programa de Química. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Quílez, J. & Solaz, J. (1995). Students' and teacher' misapplication of le Châtelier principle: implications for the teaching for chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*. 32 (9), 939-957.
- Reid, N. & Yang, M.; (2002). The solving of problem in chemistry: the more open-ended problems. *Research in science y Tecnological Education*. 20(1), 83-98.
- Restrepo, L. (Coord.) (2002). *La evaluación del aprendizaje basado en problemas, experimentación y validación*. Medellín: Editorial de la Universidad de Antioquia.
- Reyes, I. (2005). *Método de recolección de datos*. Carabobo Editorial Universidad de Carabobo.
- Salvador (2006). Curso resolución de problemas y análisis del discurso universidad de Burgos. Burgos.
- Schummer, J. (1997). Scientometric studies on chemistry I: the exponential growth of chemical substances, 1800–1995. *Scientometrics*. 39(1), 107-123.
- Schummer, J. (1998). The chemical core of chemistry II: a conceptual approach. *Hyle - International for Philosophy of Chemistry*. 4 (2), 129-162.
- Serrano, G. (1998). *Investigación cualitativa. Retos e interrogantes*. Madrid: La Muralla S.A.
- Silberman, R. G. (1981). Problems with chemistry problems: student perception and suggestions. *Journal of Chemical Education*, 58(12), 1036.
- Solaz, J. J., & Sanjose, V. (2008). Conocimiento previo, modelos mentales y resolución de problemas: Un estudio con alumnos de bachillerato. *Revista electrónica de investigación educativa*. 10 (1), 1-16.
- Solaz, J. J., Sanjose, V., & Vidal A. E. (1995). Influencia del conocimiento previo y de la estructura conceptual de los estudiantes de BUP en la resolución de problemas. *Revista de Enseñanza de la Física*. 8 (2), 21-28.
- Solaz, J. J. & Sanjose, V. (2007). Resolución de problemas, modelos mentales e instrucción. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. 6 (1), 70-89.

- Staver J. R., & Lumpe A. T. (1995). Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*. 32 (2), 177-193.
- Stieff, M., Ryu, M., Dixon, B., & Hegarty, M. (2012). The role of spatial ability and strategy preference for spatial problem solving in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89(7), 854-859.
- Stocklmayer, S., & Gilbert, J. (2002). New experiences and old knowledge: towards a model for the personal awareness of science and technology. *International Journal of Science Education*. 24 (8), 835-858.
- Sturman, A. (1988). Case Study Methods in Keeves, J.P. Ed. Educational Research, Methodology, And Measurement. An International Handbook. Oxford, Pergamon Press. 61-66.
- Surif, J., Hasniza, N. & Fairuz, S. (2014). Problem solving: algorithms and conceptual and open-ended problems in Chemistry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 116 (2014) ,4955 – 4963
- Taber K. S., (2009), Learning at the symbolic level, in multiple representations in Chemical Education, Dordrecht: *Springer Netherlands*, vol. 4, pp. 75–105.
- Talanquer, V. (2008). Química: ¿quién eres, a dónde vas y cómo te alcanzamos? Trabajo Presentado en la 8ª Convención Nacional y la 1ª Internacional de profesores de Ciencias Naturales, Mexico.
- Taylor, S. J. & Bogdan, R. (1986). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Editorial Paidós.
- Tsaparlis, G. & Angelopoulos, L. (2000). A model of problem solving: Its operation, validity, and usefulness in the case of organic synthesis problems. *Science & Education*. 84 (2), 131-153.
- Tyack, D. & Cuban, L. (1995). *Tinkering toward utopia: a century of public school reform*. Massachusetts: Cambridge University Press.
- Van BerkeL, B., De Vos, W., Verdonk, A.H., & Pilot A. (2000). Normal Science Education and its dangers: the case of School Chemistry, *Science & Education*. 9 (8), 123-159.
- Van Dijk, T. (1992). *La Ciencia del Texto*. Barcelona: Editorial Paidós.
- Ver Beek, K., & Louters, L. (1991). Chemical language skills: investigating the deficit. *Journal of Chemical Education*, 68 (5), 389.

- Vergnaud, G. (1990). La theorie des campo conceptuels, recherches En *Didactique des Mathematiques*. 10 (23), 133-170.
- Vollhardt, P., & Schore, N. (2005). *Organic Chemistry: structure and function*. New York: Palgrave Macmillan.
- Voska, K. W. & Heikkinen, H. W. (2000). Identification and analysis of student conceptions used to solve chemical equilibrium problems. *Journal of Research in Science Teaching*. 37(2), 160-176.
- Wade, L. G. (2004). *Organic Chemistry*. International Editions, 396-400.
- Weeks, D. P. (2013). *Pushing Electrons*. Nelson Education, 4 edition.
- Wiesenfeld. R. (2009). Cómo se consiguen las buenas calificaciones. (Traducción por García, 2009). *Revista Universidad Eafit*. 45(156), 72-79.
- Williams, R. V., & Shaffer, A. A. (2016). Writing reaction mechanisms: the use of site-specific curly arrows as an aid to comprehension. *Canadian Journal of Chemistry*, 95(3), 334-339.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A: Acta de compromiso a participar en el proyecto de investigación

“El lenguaje químico mediador en la resolución de problemas sobre reactividad en Química Orgánica. Un Estudio de Casos”

El proyecto es liderado por el profesor Luis Fernando Moreno y reúne a un grupo voluntario de varios estudiantes matriculados en el programa de Química, en el cual me incluyo. Pretende estudiar a lo largo de dos periodos académicos el comportamiento cognitivo de los estudiantes dicho grupo durante la resolución de problemas sobre la adición nucleofílica de compuestos carbonílicos.

Mediante mi firma en el presente Acta, me comprometo a participar de forma voluntaria y sin ningún interés particular que deba relacionarse con la nota final de los Cursos de Química Orgánica Uno y Dos, en el proyecto de investigación inscrito en el programa de Química de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Antioquia.

Me comprometo a participar en todas las actividades de clase y extra-clase que sean convocadas relacionadas con el proyecto, utilizando mi tiempo libre. En contraprestación, el profesor se compromete a dedicar espacios para asesorarme, además de compartir los análisis y resultados obtenidos en cada una de las pruebas que tenga que realizar.

Soy consciente que los datos y resultados obtenidos forman parte de un proyecto de investigación el cual debe arrojar productos que pueden ser publicados y divulgados en eventos de carácter académico.

Estudiante:

Firma

ANEXO B: Tablas correspondientes a las bitácoras, preparación para la prueba final ‘principios de reactividad’, del curso de Química Orgánica Uno

Dani

Química Orgánica											
Bitácora Personal											
Nombre: Dani											
Asistencia a clase SI (marca 1)		Tiempo dedicado a :									
Fecha	No (marca 0)	Fecha	Lugar	Rango de tiempo	# participantes	Lectura Libro	Lectura Cuaderno	Lectura Diapositivas	consulta Internet	Cuál tema en particular	Otra actividad
12-feb	1	13-feb	casa	8-11pm	1	x	x			rxn acido base	escuchar musica
14-feb	1	17/02/13	casa	6.30-9.30pm	1	x				reactividad	escuchar musica
19-feb	1	27/02/13	casa	7-11pm	1	x	x			reactividad	
21-feb	1	3/03/13	casa	06-11pm	1	x	x	x	x	oxidacion	escuchar musica
28-feb	1	4-mar	universidad	8-9.30 am						reactividad	
		11-mar	casa	2-7 pm	1	x				reactividad	
		12-mar	universidad	8-9.30am						general	
		13-mar	casa	11-6 pm	1	x	x		x	general	escuchar musica

Cata

Química Orgánica											
Bitácora Personal											
Nombre: cata											
Asistencia a clase SI (marca 1)		Tiempo dedicado a :									
Fecha	No (marca 0)	Fecha	Lugar	Rango de tiempo	# participantes	Lectura Libro	Lectura Cuaderno	Lectura Diapositivas	consulta Internet	Cuál tema en particular	Otra actividad
12-feb	1	12-feb	Biblioteca	21-22	1		x		x	acidez y basicidad	
14-feb	1	13/02/13	casa	21-23	1		x		x	acidez y basicidad	escuchar música
19-feb	1	18/02/13	Biblioteca	21-22:30	1	x	x			intermedio de rxn	
21-feb	1	19/02/13	Biblioteca	16-17	3						
28-feb	1	20/02/13	Biblioteca	21-23	1		x	x		reactividad	leer
		27/02/13	Biblioteca	22-23:30	1		x			reactividad	
		5/03/13	Biblioteca	13:30-17	3						
		5/03/13	casa	21:30-23	1	x				Ruptura (hete,homo) nucle	leer
		7/03/13	Biblioteca	13:30-16:00	2						
		8/03/13	Biblioteca	13:30-15:30	2	x				reactividad	
		10/03/13	Biblioteca	10:00-12:00	1	x				basicidad	leer
		10/03/13	Biblioteca	16:20-15:30	1						leer
		11/03/13	Biblioteca	17:30-20:40	1	x		x	x	Ppios de reactividad	leer
Total	5	12/03/13	Biblioteca	14:30-16:00	2	x				oxido-reducción	
		12/03/13	casa	18:30-20:30	1						
		13/03/13	Biblioteca	13:00-15:00	2	x	x			Ppios de reactividad	
		13/03/13	casa	19:00-23:00	1	x		x		Ppios de reactividad	

Lina

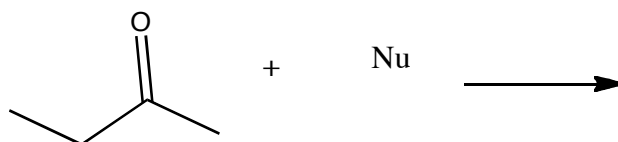
Química Orgánica											
Bitácora Personal											
Nombre: lina											
Asistencia a clase SI (marca 1)		Tiempo dedicado a :									
Fecha	No (marca 0)	Fecha	Lugar	Rango de tiempo	# participantes	Lectura Libro	Lectura Cuaderno	Lectura Diapositivas	consulta Internet	Cuál tema en particular	Otra actividad
29-ene	1	13-feb	casa,blq 1 mesa	2-4pm y 7-9pm	3		x		x	acido-base	ninguna
31-ene	1	15-feb	casa	8-10 pm	0	x	x			acido-base	escuchar musica
5-feb	1	17-feb	casa	4-6 pm	0	x				reacciones-organicas	leer
7-feb	1	18-feb	casa,blq 1 mesa	10-12 am y 8-10 pm	1	x			x	rearreglos	ninguna
12-feb	1	20-feb	casa,blq 1 mesa	2-5 pm y 10-12 pm	3	x		x		logica de la reacciones	escuchar musica
14-feb	1	24-feb	casa	4-7 pm	0	x				mecanismos	leer
21-feb	1	25-feb	mesas, biblioteca	2-5 pm	1	x				mecanismos	ninguna
28-feb	1	27-feb	casa	9-11 pm	0	x	x	x	x	ciclos y rearreglos	estudiar otras materias
12-mar	1	4-mar	blq 1 mesas	2-5 pm	2	x	x			óxido-reducción	ninguna
		8-mar	salon blq 1	8:30-10	grupal	x	x			mecanismos	estudiar otras materias
		11-mar	casa,blq 1 mesa	2-4pm y 9-11 pm	3	x	x			óxido-reducción y mecanismos	escuchar musica
		12-mar	casa,salon blq 1	8-12pm y 9-11 pm	grupal y 4		x			acido-base, mecanismos oxido-reducción	ninguna
		13-mar	biblioteca,casa	1:30-6 pm y 8-10 pm	4	x	x	x		acido-base, mecanismos, oxido-reducción	ninguna
Total	9										

Alejo

		Química Orgánica			Nombre: Alejo						
		Bitácora Personal			Tiempo dedicado a:						
Asistencia a clase SI (marca 1) Fecha No (marca 0)		Fecha	Lugar	Rango de tiempo	# participantes	Lectura Libro	Lectura Cuaderno	Lectura Diapositivas	consulta Internet	Cuál tema en particular	Otra actividad
		13-feb	casa	8-9pm	1	x				acidez y basicidad	escuchar musica
		14-feb	universidad	2-4pm	2		x			reactividad	
		17-feb	casa	07:30-8:30pm	1	x				acidez y basicidad	chateando
		18-feb	casa	6:00-9:00pm	1	x				mecanismos de reactividad	escuchar musica y chatear
		18-feb	casa	09:02:00 a.m-	1					reactividad	
		4-mar	casa	3-5pm	2						
		5-mar	casa	9-10am	1	x					
		6-mar	casa	9-10am	1		x				
		7-mar	casa	9-9:30am	1						
		11-mar	casa	5-6pm	1						
		11-mar	casa	6-7pm	1						
		13-mar	casa	10-11am	1						escuchar musica
		13-mar	casa	11am-12pm	1						escuchar musica
		13-mar	casa	2-3pm	1						escuchar musica
		13-mar	casa	4-6pm	2	x				redox y reactividad	skype

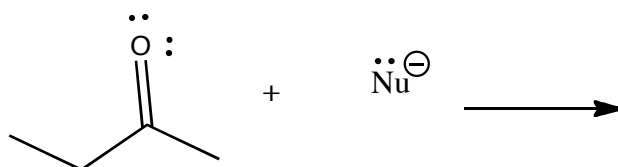
ANEXO C: descripción detallada de los enunciados para los 20 problemas tratados en la intervención de aula.

Problema 1: La pareja de reactivos representados en la siguiente ecuación química, pueden combinarse para producir un intermedio de reacción, dibuja el intermedio de reacción y utiliza la notación de flechas curvas para indicar el proceso.



Descripción: el problema plantea la necesidad de representar el mecanismo general de la reacción de adición nucleofílica al grupo carbonilo; se omite la representación de pares de electrones libres y cargas eléctricas; se muestra de modo explícito la estructura molecular del primero de los reactivos, mientras se deja de forma general el segundo reactivo. Se pretende que sea representada la solución explicitando el intermedio de reacción, las cargas eléctricas, el movimiento de electrones (los cuales deben ser inferidos por el estudiante) utilizando flechas curvas a través de la notación de Robinson.

Problema 2: La pareja de reactivos representados en la siguiente ecuación química, pueden combinarse para producir un intermedio de reacción, dibuja el **anión** intermedio de reacción y utiliza la notación de flechas curvas para indicar el proceso.

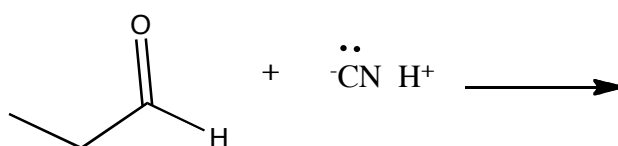


Descripción: se hace explícito en el enunciado la información sobre la formación de un anión intermedio, el cambio en esta sola palabra es importante para el análisis de resultados. Son mostrados los pares de electrones libres y las cargas eléctricas de los reactivos, se pretende sea representada la solución explicitando el intermedio de reacción, las cargas eléctricas, el movimiento de electrones utilizando flechas curvas a través de la notación de Robinson.

Problema 3: Escribe el mecanismo de Reacción de un compuesto carbonílico aldehído o cetona con un equivalente de ácido cianhídrico.

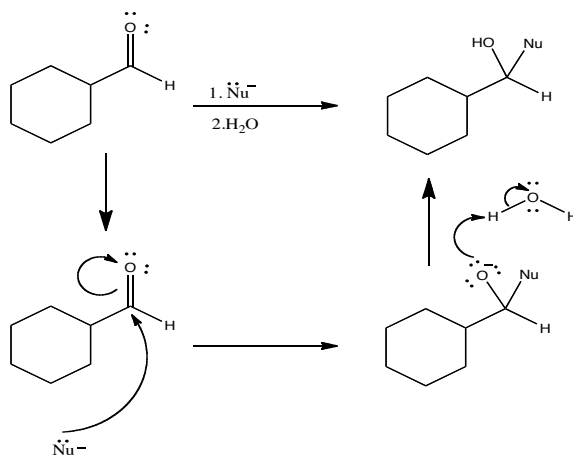
Descripción: se presenta un enunciado corto, carente de fórmulas químicas estructurales; se deja la selección de un reactivo indicado de forma general por su grupo funcional y el segundo reactivo por su nombre químico. Se pretende que sea representada las fórmulas estructurales de reactivos y productos, se dibujen las cargas y pares de electrones libres y se utilice la notación de flechas curvas para indicar el movimiento de electrones a través del mecanismo de reacción.

Problema 4: Escriba el mecanismo de Reacción del siguiente compuesto carbonílico con un equivalente de ácido cianhídrico.



Descripción: el enunciado incluye la representación del reactivo uno utilizando la fórmula química molecular sin la representación de los pares de electrones libres (es de interés si son representados). A su vez el segundo reactivo muestra la separación de anión y catión, el par de electrones libres y sus respectivas cargas eléctricas.

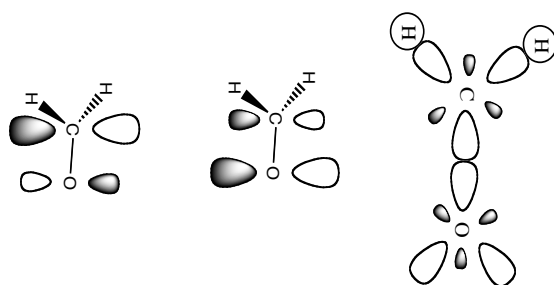
Problema 5: Escribe un enunciado para un problema donde el siguiente mecanismo de reacción corresponda con la solución.



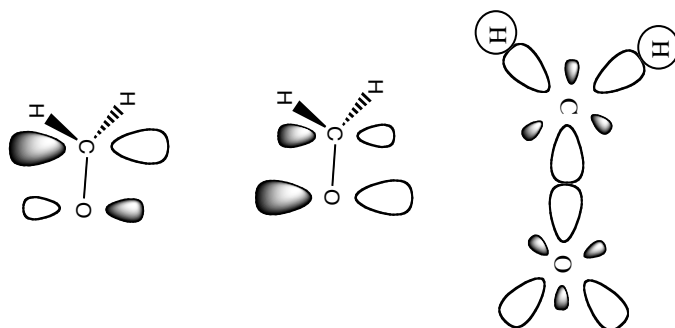
Descripción: el problema cambia el esquema tradicional de proponer una respuesta, ahora se requiere escribir un texto que sirva como enunciado de la solución mostrada en detalle. Es de interés: a) identificar los conceptos químicos utilizados, b) identificar si hay algún termino en la solución desconocido para los estudiantes. Se ha

dejado a propósito un producto secundario de la reacción sin escribir, con el objetivo de identificar si se hace una lectura adecuada de la solución acompañada y una pregunta en el enunciado que sugiera revisar la solución.

Problema 6: A continuación se muestran la representación de tres estructuras en orbitales, pertenecientes al mismo compuesto químico, Realiza una descripción para cada uno de ellos donde puedas explicar toda la información que ofrecen.

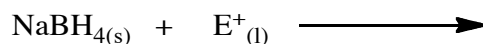


Si ahora consideras los siguientes términos: e libres, LUMO, π , σ , HOMO, π^* , orbital; ¿puedes mejorar tu descripción?



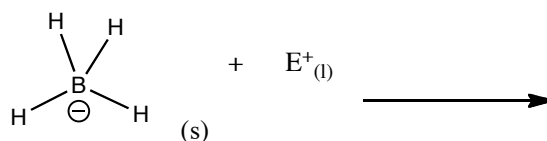
Descripción: el problema se divide en dos partes, la primera consta de un enunciado que no contiene conceptos químicos que actúen como referentes para la descripción solicitada, y el segundo enunciado contiene palabras concepto que pueden o no ayudar a mejorar la descripción anterior. Se pretende identificar si el enunciado que contiene las palabras concepto ayudan a mejorar la descripción sobre las mismas imágenes que aparecen en ambos enunciados.

Problema 7: El tetraborohidruro de sodio es utilizado como un agente reductor en muchas reacciones químicas a nivel experimental. Proponga el mecanismo de la reacción para el siguiente conjunto de reactivos:



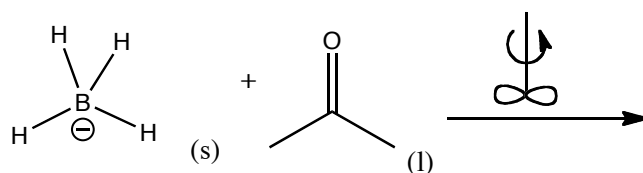
Descripción: La información que proporciona el enunciado contiene un par de conceptos químicos y muestra las fórmulas de composición de los dos reactivos participantes, uno de ellos con su fórmula de composición y el segundo como un reactivo genérico denominado electrófilo. El propósito del enunciado es comparativo con respecto a la información contenida en el enunciado de en los dos problemas posteriores.

Problema 8: El tetraborohidruro de sodio es utilizado como un agente reductor en muchas reacciones químicas a nivel experimental. Proponga el mecanismo de la reacción para el siguiente conjunto de reactivos:



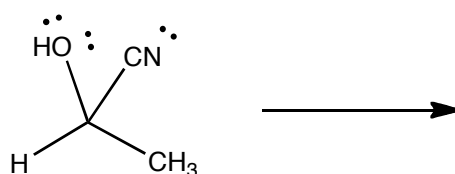
Descripción: el presente enunciado muestra el mismo párrafo introductorio del problema 7, ahora se muestra la fórmula estructural del primer reactivo, que pretende ser combinado con un reactivo genérico denominado electrófilo. El propósito del enunciado es comparativo con respecto a la información contenida en el enunciado de los problemas anterior y posterior.

Problema 9: El tetraborohidruro de sodio es utilizado como un agente reductor en muchas reacciones químicas a nivel experimental. Proponga el mecanismo de la reacción para el siguiente conjunto de reactivos:



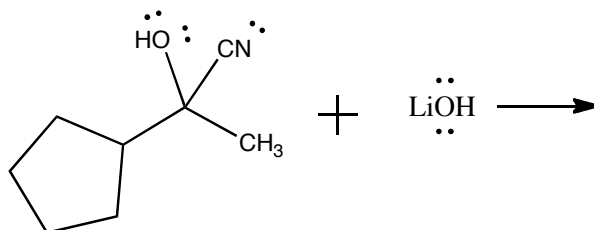
Descripción: el enunciado muestra el mismo párrafo introductorio de los problemas 7 y 8, pero ahora se muestra las fórmulas estructurales de ambos reactivos y las condiciones de mezclado de ambas sustancias, siendo el segundo reactivo es específico (propanona). El propósito del enunciado es comparativo con respecto a la información contenida en el enunciado de los dos problemas anteriores.

Problema 10: Cuando las cianohidrinas reaccionan con piridina (una base), la región más propensa al ataque es un hidrogeno, el cual al ser extraído genera una especie nucleofílica, tras una reacción intramolecular, se obliga la salida de uno de los sustituyentes formándose un enlace pi. Escribe el mecanismo para la reacción de la siguiente cianohidrina y Piridina.



Descripción: en este caso se presenta en primer lugar el problema comparativo con menor información, para evitar así la predisposición de los estudiantes de cómo son enfrentados a la resolución de problemas. El enunciado contiene una gran cantidad de conceptos químicos y se muestra la fórmula de composición del reactivo principal dejando la representación del segundo reactivo para el estudiante. Se pretende comparar la diferencia en el uso de la información contenida en este enunciado con la del enunciado del problema 11, al resolver ambos.

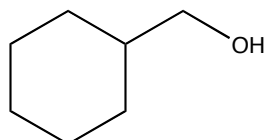
Problema 11: Los siguientes reactivos son mezclados para obtener un producto principal y otro secundario. Dibuja el mecanismo de la reacción.



Descripción: el enunciado es pobre en el uso de conceptos químicos, sin embargo, se presenta unos días posteriores al enunciado del problema 10 que puede actuar como experiencia. Dado que ambos incluyen el mismo planteamiento y resolución, en este

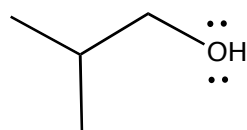
caso se presentan explícitamente los dos reactivos, para buscar encontrar los dos productos principales de la reacción. Se pretende comparar la diferencia en el uso de la información contenida en este enunciado con la contenida en el enunciado del problema 10, al resolver ambos.

Problema 12: Proponga la síntesis del siguiente alcohol utilizando un reactivo órgano metálico y un compuesto carbonílico.



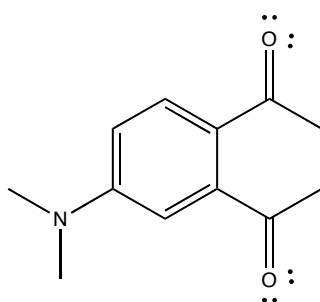
Descripción: el enunciado de este problema solo menciona tres conceptos químicos generales, la fórmula estructural del producto de reacción y la generalidad estructural de los dos reactivos que son las sustancias químicas de partida; es menester proponer las estructuras de los reactivos y etapas intermedias para lograrlo, a propósito se ha dejado de nuevo la estructura sin los pares de electrones libres, buscando la conciencia semántica en su utilización a través del mecanismo de reacción. Este problema es comparativo al trabajo a realizar la resolución del problema 13 dado que comparten el mismo alcance en la similitud de sus requerimientos.

Problema 13: Los reactivos de Grignard y los organolitados son utilizados como buenos Nucleófilos. Estos atacan al grupo carbonilo donando su cadena carbonada y formando un enlace C-C con transformación concomitante del oxígeno carbonílico en un alcohol. Dibuje un mecanismo donde se propongan todos los reactivos y condiciones experimentales para producir el siguiente alcohol.



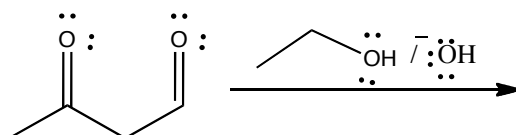
Descripción: El enunciado consta de una gran descripción del proceso utilizando muchos conceptos químicos. Se presenta la fórmula estructural del producto de la reacción y se propone las estructuras de todos los reactivos y etapas intermedias a lo largo de la reacción, al igual que su mecanismo. Este problema es comparativo al realizar la resolución del problema 12 dado que comparten el mismo alcance en la similitud de sus requerimientos.

Problema 14: Los compuestos carbonílicos, aldehídos y cetonas reaccionan con ácido cianhídrico, a través de una reacción catalizada por el mismo ácido, que al final procede al producto de adición nucleofílica; la estequiometría de la reacción suele ser importante en un proceso sintético, puesto que una relación estequiométrica determinada puede en muchos casos hacer que un grupo funcional reaccione antes que otros en la misma molécula y se dirija así la reacción hasta el producto deseado. Otros factores pueden dar idea de qué grupo funcional se puede favorecer, tales como el impedimento estérico, cercanía de grupos extractores o donores de electrones, resonancia, entre otros. Proponga el mecanismo de la reacción de un equivalente de ácido cianhídrico y un equivalente de:



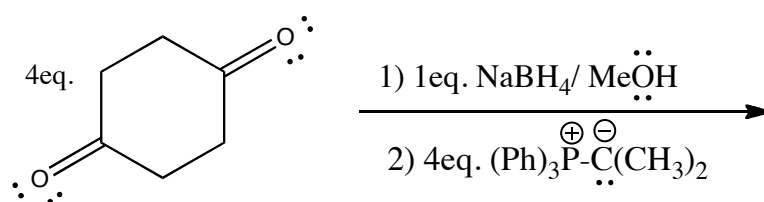
Descripción: El problema presenta un enunciado con mucha información que contrasta el lenguaje químico y el lenguaje natural, además de un alto contenido de conceptos químicos. La estructura de reactivo uno, se muestra como una fórmula estructural indicándose los pares de electrones libres sobre los oxígenos carbonílicos, y dejando al nitrógeno del grupo amino sin estos, en pos de evidenciar si estos serán representados, ya que son claves para la resolución adecuada del problema. Se debe seleccionar cuál de los dos grupos carbonílicos es más reactivo para la presente situación química. Este enunciado se relaciona con los siguientes dos enunciados de los problemas 15 y 16 dado que comparten: similitudes en su desarrollo, solución y alcance conceptual.

Problema 15: Complete la siguiente reacción.



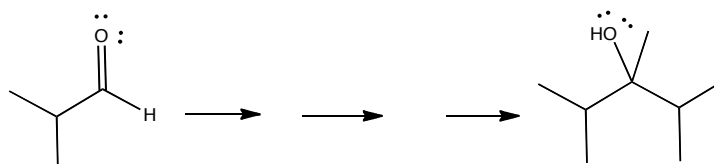
Descripción: el problema es presentado con un enunciado típico para este tipo de situaciones. Solo hay una frase que no establece información adicional, acompañada de las fórmulas estructurales de los reactivos, donde se indican las cargas eléctricas y los pares de electrones libres. El problema pretende en su resolución seleccionar cuál de los grupos aldehído o cetona es más reactivo en la situación química presentada. El problema guarda relación con los enunciados 14 y 16 dado que comparten similitudes en su desarrollo, solución y alcance conceptual.

Problema 16: Utilizando reactivos adecuados es posible transformar algunos grupos funcionales en otros. Proponga el mecanismo para la siguiente reacción de transformación de grupo funcional.



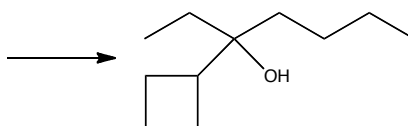
Descripción: el enunciado contiene más información que la del problema 15 y menos conceptos que en el problema 14. Los tres buscan el mismo objetivo y es la selección entre dos grupos carbonilos para saber quién es más reactivo. En este enunciado se muestran: la fórmula estructural del reactivo principal, las fórmulas de composición de los dos restantes reactivos y las cargas y electrones libres; y se indica, para todos los casos, el número de equivalentes de reacción presentes quienes ayudan a planear la estrategia de resolución.

Problema 17: Es posible proponer la retrosíntesis de un compuesto orgánico, identificando los lugares de modificación de un grupo funcional. Los alcoholes, aldehídos y ácidos carboxílicos se encuentran en tres niveles diferentes de oxidación, los cuales con los reactivos apropiados oxidantes/reductores pueden transformarse entre ellos. Utilizando los reactivos adecuados, propone el mecanismo para la siguiente reacción de transformación de grupo funcional



Descripción: el problema muestra una secuencia interrumpida de etapas sintéticas. Se observan las fórmulas estructurales del primer reactivo, el producto de la reacción. El enunciado incluye gran contenido de información en conceptos químicos y para la resolución es preciso planear tres etapas. Este problema posee una relación con el problema 18 en cuanto al planteamiento de etapas sucesivas, sin embargo, el problema 18 es de mayor grado de dificultad, por lo cual no se presentan ligados al análisis de ambos.

Problema 18: Los reactivos de Grignard y los organolitados son utilizados como buenos nucleófilos. Estos atacan al grupo carbonilo donando su cadena carbonada y formando un enlace C-C con transformación continuada del oxígeno carbonílico en un alcohol. Dibuje un mecanismo donde se propongan todos los reactivos y condiciones experimentales para producir el siguiente alcohol con materiales de partida que contengan cuatro carbonos o menos.

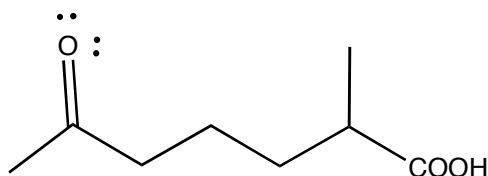


Descripción: de nuevo se presenta un enunciado con alto contenido de conceptos químicos dando una idea de la secuencia sintética que se requiere. El problema propone una restricción en cuanto a los materiales de partida y se presenta el producto final como fórmula estructural sin asignación de los pares de electrones libres.

Problema 19: Prediga el producto principal de la reacción de reducción de la (R)-3-fenil-2-pentanona con tetrahidruro de litio y aluminio incluyendo la estereoquímica adecuada. Le ayudará dibujar una proyección Newman a lo largo del enlace sigma con el carbono carbonílico y dibuje el grupo más voluminoso de manera perpendicular a dicho carbonilo según la proyección.

Descripción: este problema refiere un planteamiento ilustrativo en primera instancia, donde se hace necesario dibujar el reactivo para aplicar luego el concepto de reducción química. Por experiencia del investigador este tipo de problemas suelen ser difíciles para los estudiantes pues requieren de un alto grado de abstracción, y ser transformados a una buena representación tridimensional se hace fundamental. No se presenta ningún tipo de fórmulas químicas, pero se incluye los nombres de los reactivos y una ayuda para aclarar el procedimiento de resolución.

Problema 20: Un compuesto **D**, de fórmula $C_8H_{14}O$, se transforma al combinarse químicamente con $CH_2=P(Ph)_3$ en un compuesto **E** (C_9H_{16}). Cuando **D** reacciona con $LiAlH_4$ produce dos compuestos isómeros **F** y **G** de fórmula $C_8H_{16}O$ en rendimientos desiguales, y calentando **F** o **G** con H_2SO_4 concentrado, se produce un compuesto **H** de fórmula C_8H_{14} . La ozonólisis de **H** con workup de Zn/H^+ produce un cetoaldehído. La oxidación de este cetoaldehído con $Cr(VI)/H^+$ produce:



determina las estructuras de los compuestos **D**, **E**, **F**, **G** y **H**
 ¿Cuál de los dos isómeros **F** o **G** es más abundante? Explícalo.

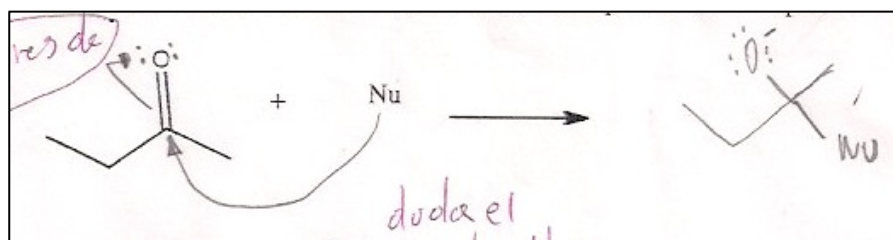
Descripción: el problema comprende una secuencia de etapas, por lo cual integra un gran conjunto de conceptos discutidos en el curso, que normalmente se preguntan por separado. Las etapas se relacionan entre sí para lograr establecer las estructuras requeridas y solo se muestra el producto final de la secuencia con los pares de electrones libres sobre el carbonilo y ausentes sobre el ácido carboxílico. Se debe hacer una retrospección del proceso para identificar las estructuras. Al final hay una pregunta que define la comprensión espacial del contexto de reacción, que presenta el mayor grado de dificultad del problema.

ANEXO D: Respuestas de los estudiantes de los seis casos a los problemas

A continuación, son presentadas las copias originales de las respuestas de los seis estudiantes a cada uno de los 20 problemas propuestos. Se acompañan tablas que resumen los usos atribuidos al lenguaje químico en la resolución de problemas, clasificados en las correspondientes categorías conceptuales. Los descriptores se denominan con los símbolos A: Adecuado, i: incompleto, N: no adecuado, X: no utiliza. Cuando una de las letras que indican los descriptores se encuentre precedida por un número, éste significa la cantidad de veces que se ha repetido dicha valoración en la resolución del mismo problema.

Caso 1: Dani

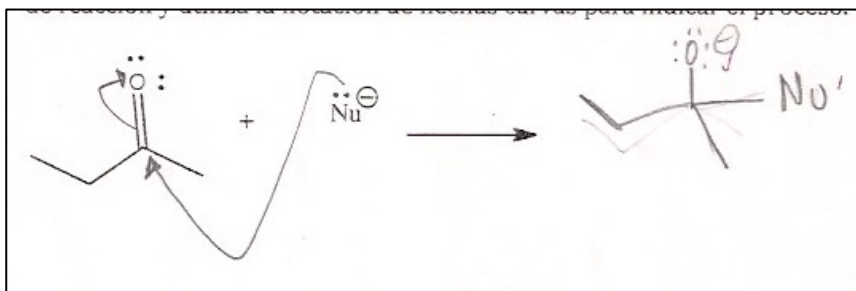
Solución al problema 1



Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 1	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	2A	A	A	A	A	A	2A	A	i	A	A	A	A			
							X	X		A	N					

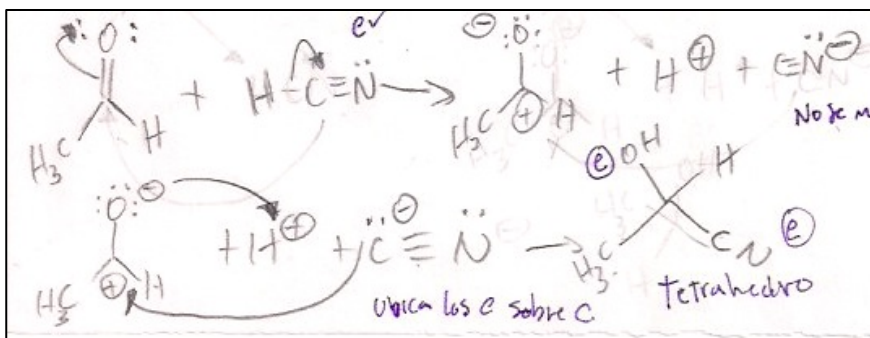
Siglas **sq**: símbolos químicos, **fqc**: fórmula química de composición, **eq**: ecuación química, **vq**: valencia química, **fqe**: fórmula química estructural, **eqe**: ecuación química estructural, **pe**: pares de electrones, **ce**: cargas eléctricas, **ac**: aniones y cationes, **p**: polaridad, **rb**: notación de Robinson, **mrxn**: mecanismo de la reacción, **gm**: geometría molecular, **or**: orbitales, **con**: conformaciones, **est**: estereoquímica. Con respecto a los descriptores A: Adecuado, i: incompleto, N: no adecuado, X: no utiliza.

Solución al problema 2



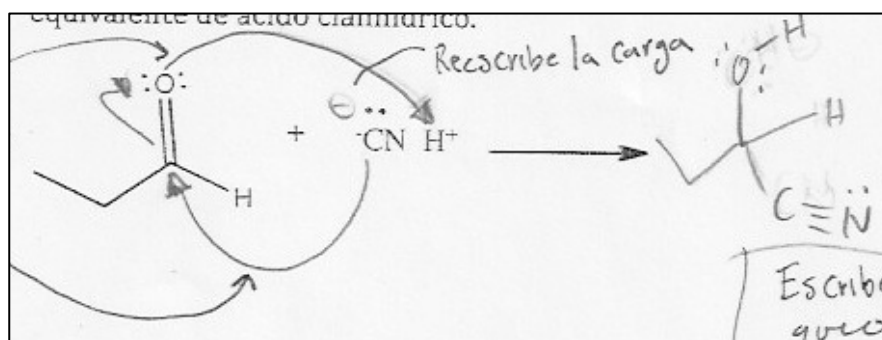
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 2	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	Est
Solución Adecuada	2A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	2A	A	A			

Solución al problema 3



Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 3	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	Est
Solución Adecuada	22A	A	A	A	A	A	3A	4A	i	A	N	i	3A	N		

Solución al problema 4



Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 4	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	5A	A	A	A	i	i	A	A			A	N	A			

Solución al problema 5

Para el enunciado Dani escribe: “complete la reacción mostrando el mecanismo de ella.”

El único termino químico es “reacción”, sin embargo este término es mal utilizado, dado que el mecanismo de una reacción es la representación de dicho proceso. Se atribuye una coherencia media al enunciado, bajo uso de conceptos químicos.

Cuando se pregunta, ¿considera que al mecanismo de reacción le puede faltar algo?, responde acertadamente. Identifica en la última etapa, debe quedar un grupo hidroxilo libre después de la protonación del alcohol.

Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 5	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Incompleto	A	A	I	A	-	i	x	A	A	A	-	-				

Solución al problema 6

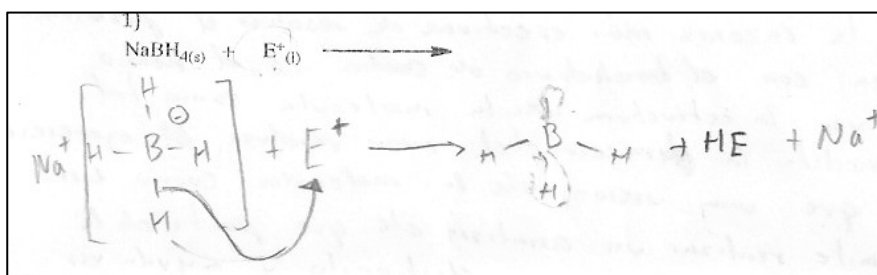
La siguiente tabla lista los descriptores utilizados en el análisis del problema 6:

Enunciado	6.1	6.1'	6.2	6.2'	6.3	6.3'
Cantidad de conceptos utilizados	Media	Media	Media	Baja	Baja	Baja
Relación entre conceptos	Ninguna	Baja	Media	Baja	Media	Baja
Coherencia	Baja	Baja	Alta	Baja	Alta	Media
Solución del problema	No adecuada	No adecuada	Incompleto	No adecuada	Adecuada	No adecuada
Observaciones		Los nuevos términos mejoran la relación entre conceptos	Afirma que puede mejorar la descripción	Introduce un nuevo termino, confunde la solución		Introduce nuevos términos en la descripción

Los términos introducidos en la segunda parte del enunciado, no generaron una mejor descripción de la situación, todo apunta a un diagnóstico donde no hay claridad en los conceptos reflejado en el uso de esos.

Solución al problema 7

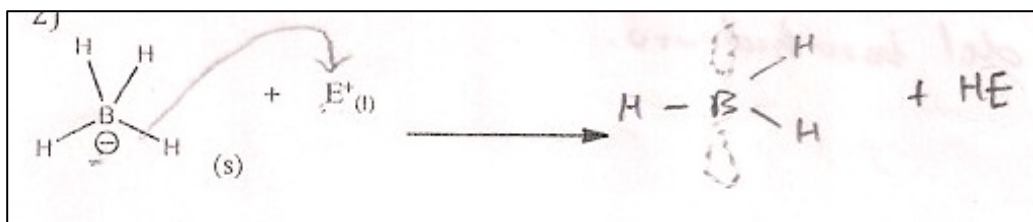
El problema es resuelto en parejas.



Caso Dani	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 7	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	13A	A	A	A	A	A	3A i	4A	A	A	A	A	A	A		

Solución al problema 8

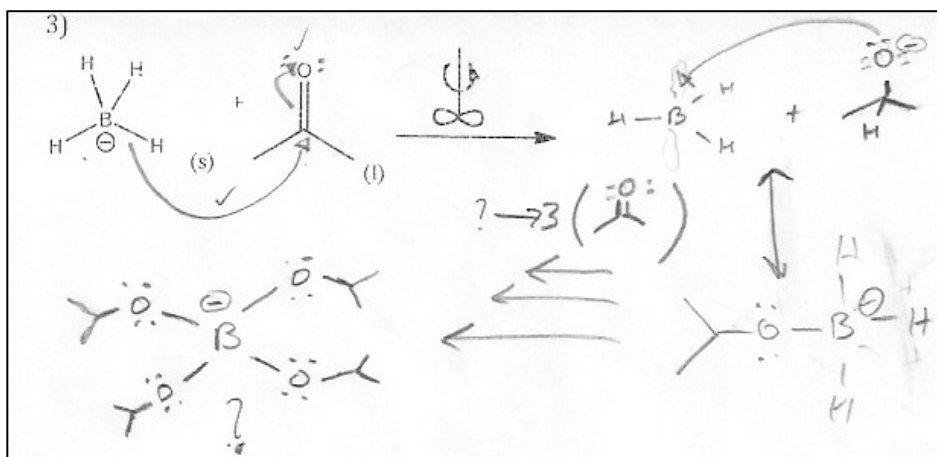
El problema es resuelto en parejas.



Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 8	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	5A	A	A	A	i	i	A	2A	A	A	A	A	A	A	A	A

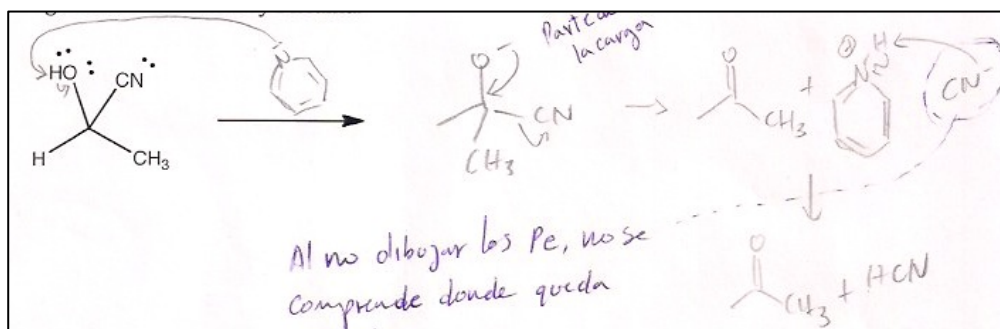
Solución al problema 9

El problema es resuelto en parejas.



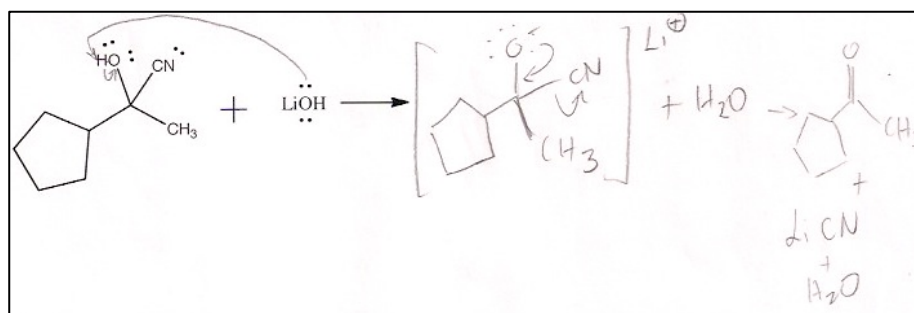
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 9	Sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	Or	con	est
Solución No Adecuada	16A	A	A	A	i	I	6A	6A	A	A	3A	i	2A	A		

Solución al problema 10



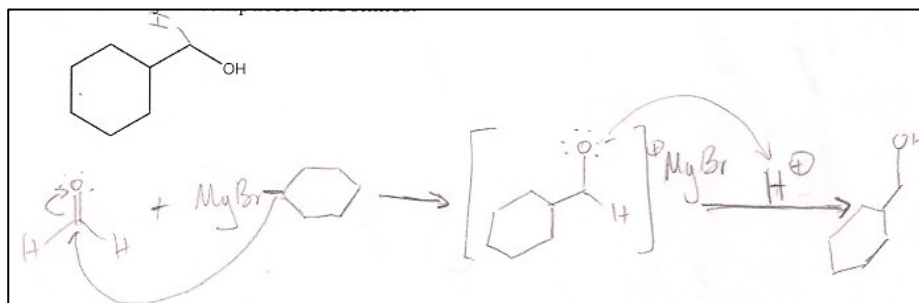
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 10	Sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	13A	A	A	A	A	A	A	4A	A	A	2A	i	4A			
							4x	N			2N					

Solución al problema 11



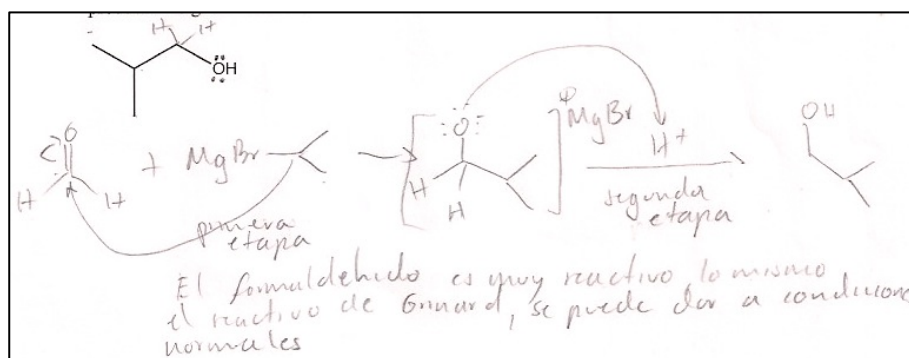
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 11	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	10A	A	A	A	A	A	i	5A	A	A	3A	A	2A			
	N						4x									

Solución al problema 12



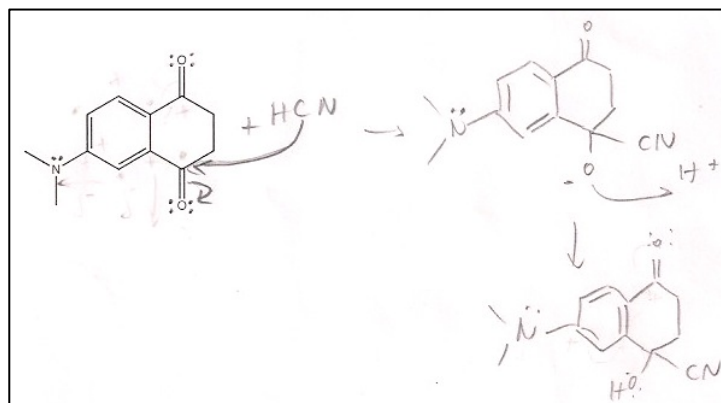
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5					
Problema 12	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	Or	con	est
Solución Incompleta	10A	A	A	A	A	A	3A	6A	A	A	2A	A	3A			
		N	N	N	N	N	3x				1N					

Solución al problema 13



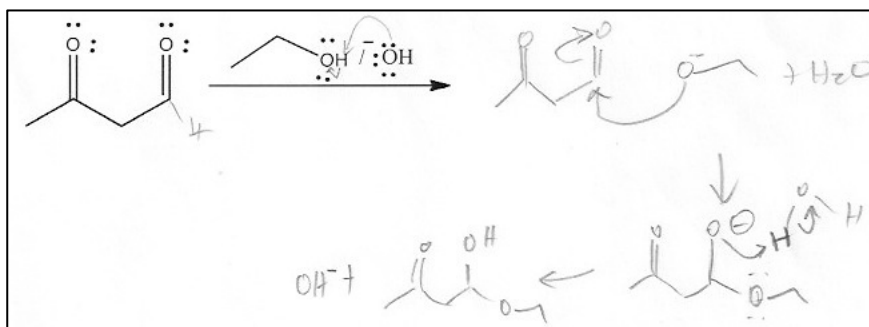
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5					
Problema 13	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	Or	con	est
Solución Adecuada	10A	A	A	A	A	A	4N	5A	A	A	3A	A	3A			
		N	N	N	N	N	A				A					

Solución al problema 14



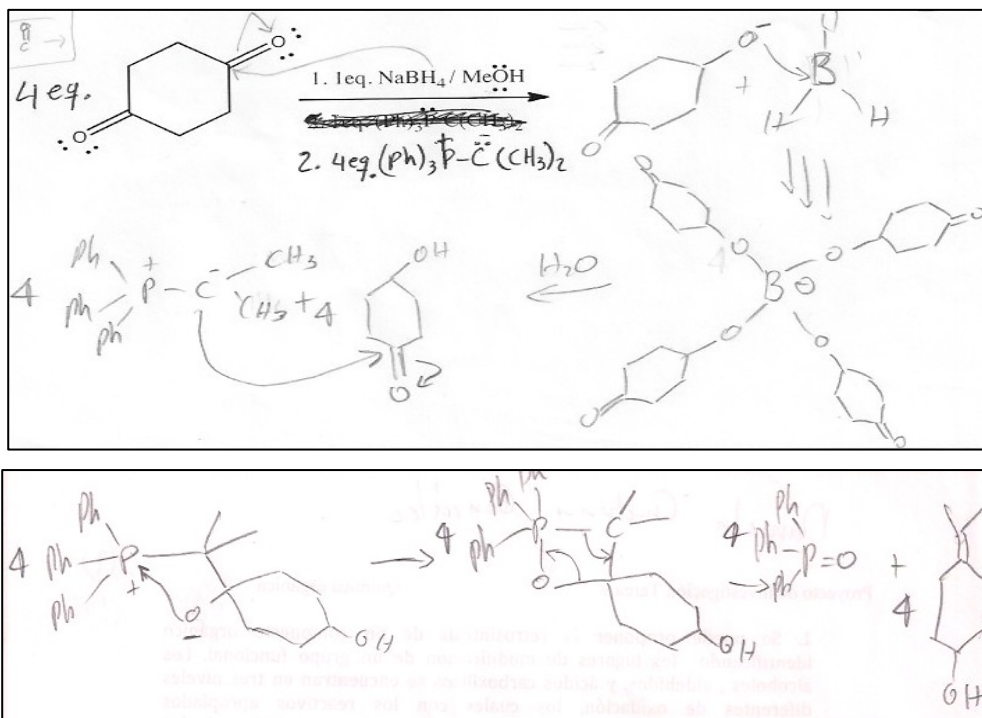
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 14	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	11A N	A	A	A	A	A	3i	2A	A	A	A 2N	i	2A			

Solución al problema 15



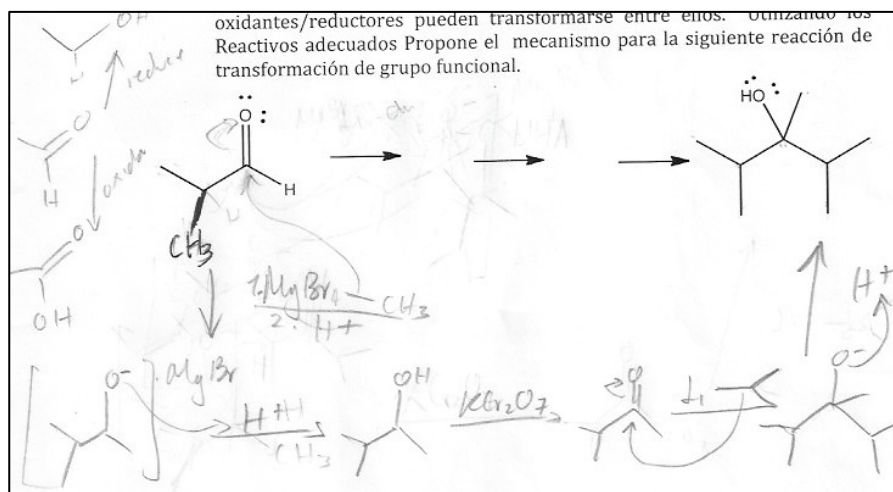
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 15	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	11A N	A	A	A	A	A	6x	7A	3A	A	4A 2N	A	3A			

Solución al problema 16



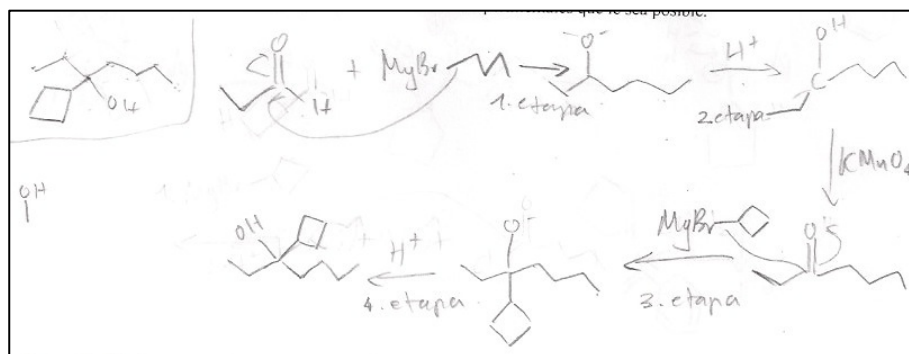
Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 16	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	Con est
Solución Adecuada	41A	A	A	A	A	A	8x	6A	6A	A	4A	A			
	N						2x	x	x		4N				

Solución al problema 17



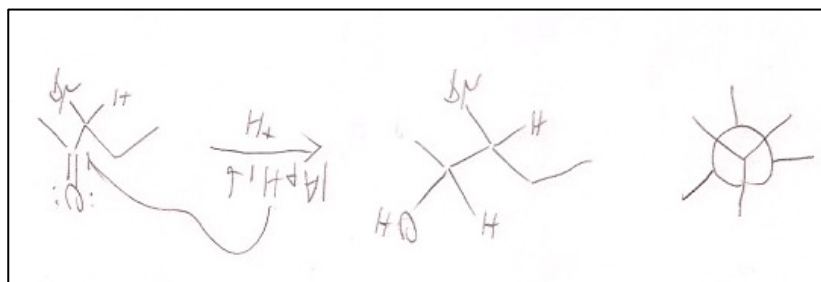
Caso Dani	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 17	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	15A	A	A	A	A	A	x	4A	4A	A	4A	A	4A			
		N		N	N		8x				2N					

Solución al problema 18



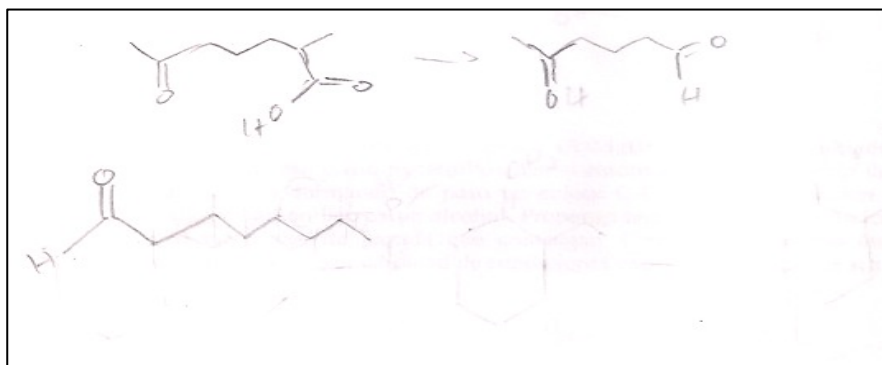
Caso Dani	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 18	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	13A	A	A	A	i	i	7x	4A	4A	A	4A	i	6A			
				N							2x		N			

Solución al problema 19



Caso Dani	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 19	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	Est
Solución No Adecuada	10A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	i	2A		x	
							2x						N			

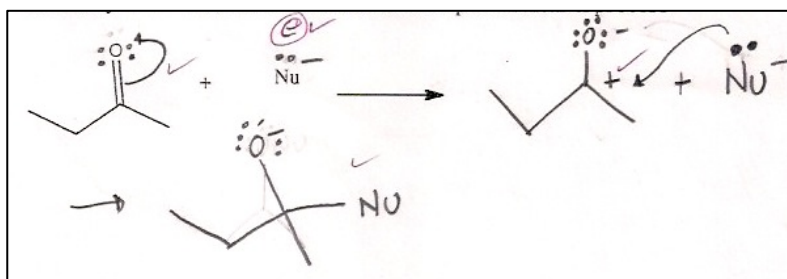
Solución al problema 20



Caso Dani	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 20	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución No resuelve	6A N	A	A	A	A	i	x				x	x	2A		2x	2x

Caso 2: Cata

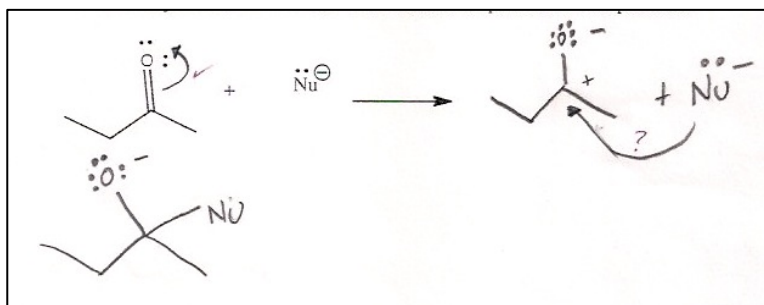
Solución al problema 1



Caso Cata	Categoría 1	Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5								
Problema 1	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	4A	4A	3A	A	2A	A	2 ^a			

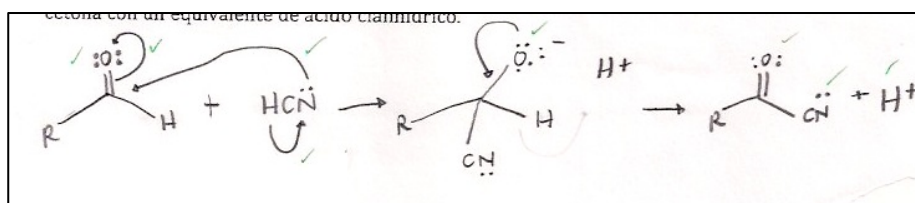
Siglas **sq**: símbolos químicos, **fqc**: fórmula química de composición, **eq**: ecuación química, **vq**: valencia química, **fqe**: fórmula química estructural, **eqe**: ecuación química estructural, **pe**: pares de electrones, **ce**: cargas eléctricas, **ac**: aniones y cationes, **p**: polaridad, **rb**: notación de Robinson, **mrxn**: mecanismo de la reacción, **gm**: geometría molecular, **or**: orbitales, **con**: conformaciones, **est**: estereoquímica. Con respecto a los descriptores **A**: Adecuado, **i**: incompleto, **N**: no adecuado, **X**: no utiliza.

Solución al problema 2



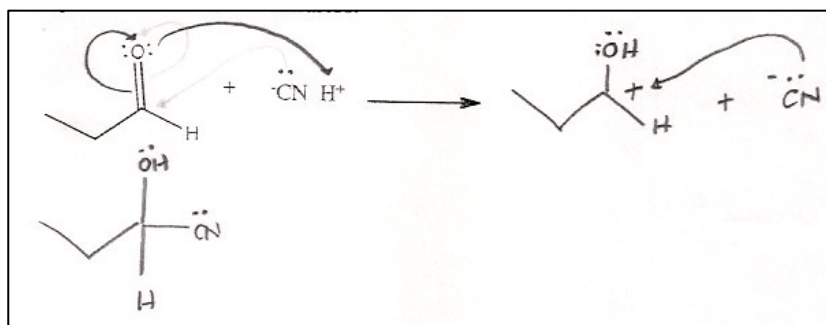
Caso Cata	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 2	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	3A	3A	4A	A	A	i		2 ^a			

Solución al problema 3



Caso Cata	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 3	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	2A	i	4A	2A	3A	A	3A	i				
					N		x						3A			

Solución al problema 4



Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 4	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	Or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	2A	i	3A	2A	2A	A	3A	A				
					N		i									

Solución al problema 5.

Para el enunciado Cata escribe “Escriba un mecanismo de reacción en el cual un aldehído reacciona con un nucleófilo, produciendo un alcohol.”

Los términos químicos utilizados son abundantes, presenta una alta coherencia el enunciado al relacionar los conceptos, se menciona que ninguno de los términos en la solución es desconocido.

Cuando se pregunta ¿considera que al mecanismo de reacción le puede faltar algo? La respuesta no es acertada, no identifica el grupo hidroxilo libre después de la protonación del alcohol.

Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 5	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	i	A	-	i	A	x	x	A	-	-				
																x

Solución al problema 6

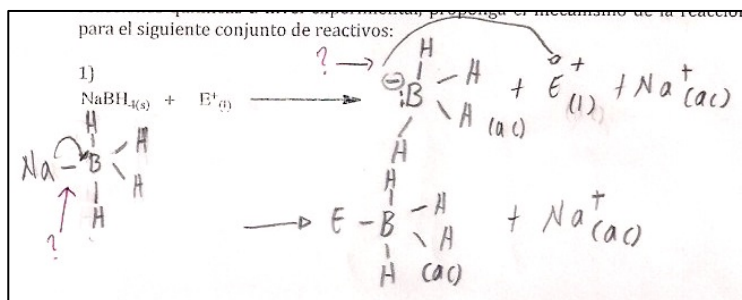
La siguiente tabla lista los descriptores utilizados en el análisis del problema 6:

Enunciado	6.1	6.1'	6.2	6.2'	6.3	6.3'
Cantidad de conceptos utilizados	Alta	Ninguno	Media	Ninguno	Baja	Ninguno
Relación entre conceptos	Alta	Ninguno	Alta	Ninguno	Alta	Ninguno
Coherencia	Alta	Ninguno	Alta	Ninguno	Alta	Ninguno
Solución del problema	Adecuado	No adecuado	Incompleto	No adecuado	Incompleto	No adecuado
Observaciones	Utiliza muchos conceptos en la descripción	Expresa que no tiene claridad en los nuevos términos, no resuelve el problema		Dibuja el termino pi* sin realizar ningún comentario, no resuelve el problema	Incluye el termino pi, y describe su significado	No resuelve el problema, expresa tener dificultades con esta descripción a partir de la imagen.

La introducción de los nuevos términos parece dificultar la resolución del problema, menciona que los nuevos términos no son claros y complican realizar la descripción.

Solución al problema 7

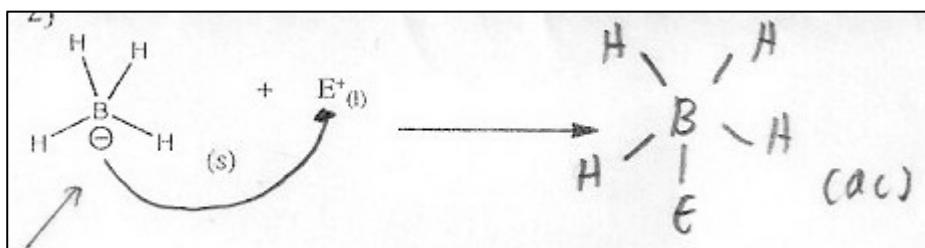
El problema es resuelto en parejas.



Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 7	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	N	N	N	2N	3N	2A	A	2N	N	3N			

Solución al problema 8

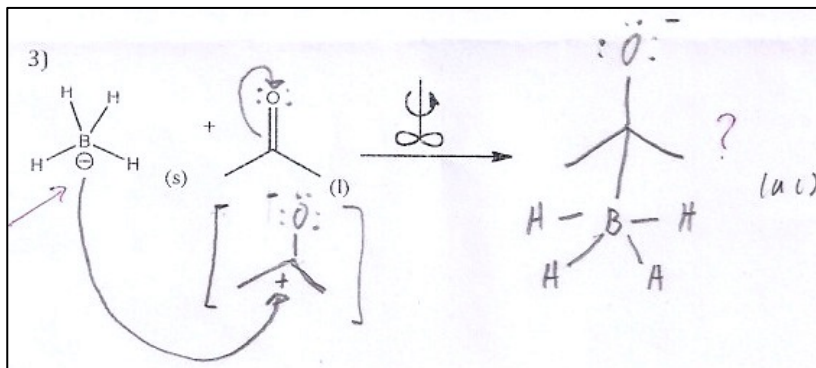
El problema es resuelto en parejas.



Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 8	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	N	A	N	N	N	-	N	N	N	N	N	N			

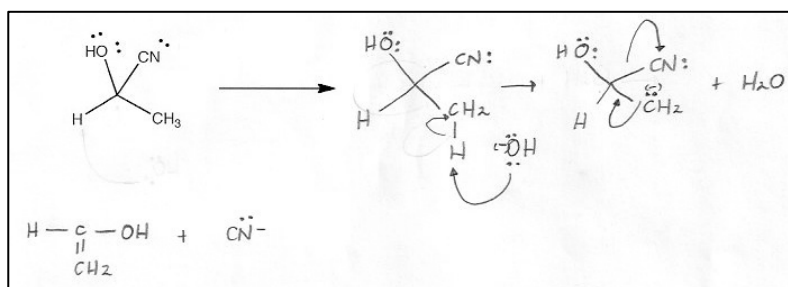
Solución al problema 9

El problema es resuelto en parejas.



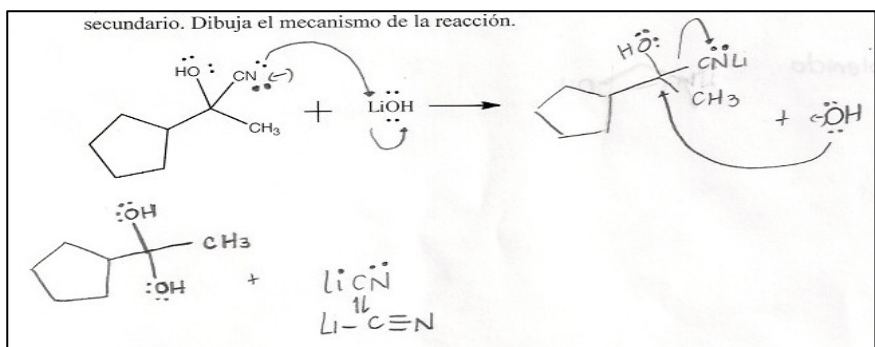
Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 9	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	i	2A	2A	2A	A	A	i	A	N	N	N

Solución al problema 10



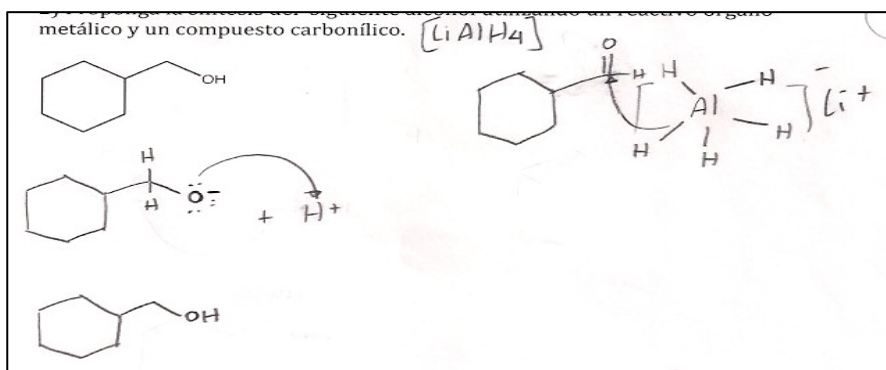
Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 10	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	Est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	A	2x	3A	3A	A	4A	N	2A	N	N	N

Solución al problema 11



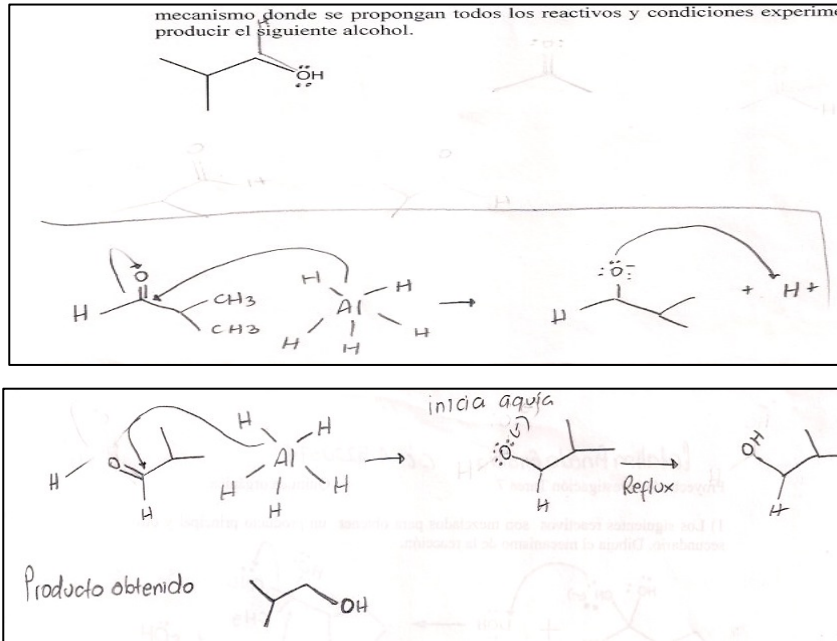
Caso Cata	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 11	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	Est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	i	4A	A	A	A	3A	i	3A			

Solución al problema 12



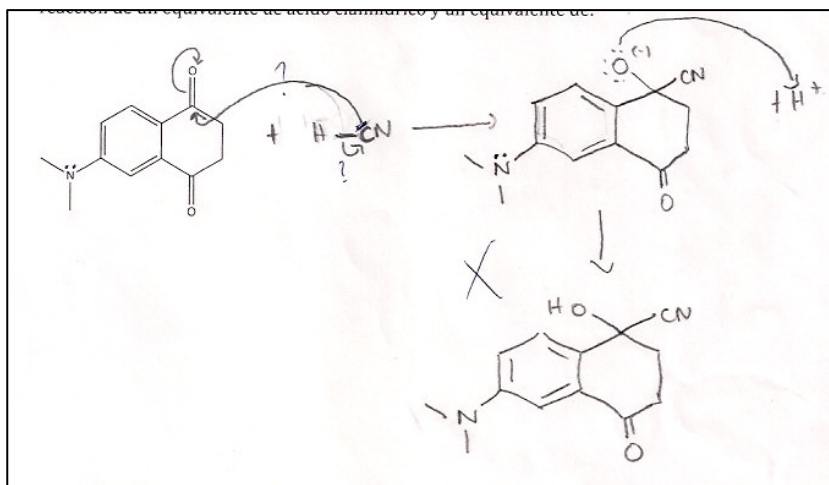
Caso Cata	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 12	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	i	A	3A	4A	A	2A	I	3A			

Solución al problema 13



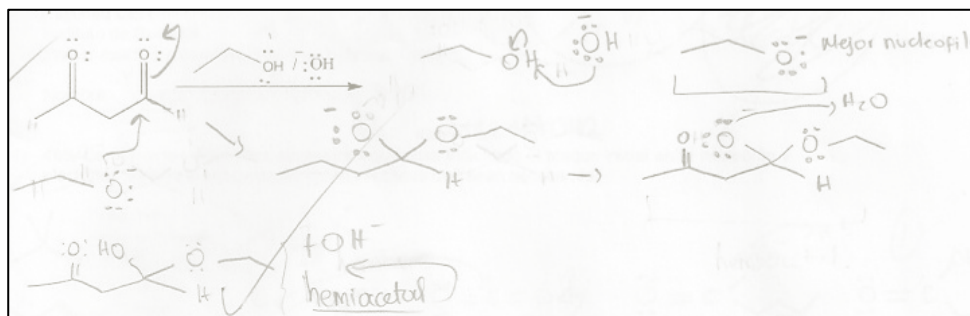
Caso Cata	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 13	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	Or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	N	N	i	A	2x	A	A	A	A	I	6A	2N

Solución al problema 14



Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 14	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución	A	A	A	A	A	A	2x	2A		A	3A	N				
No Adecuada							2i				4x					

Solución al problema 15

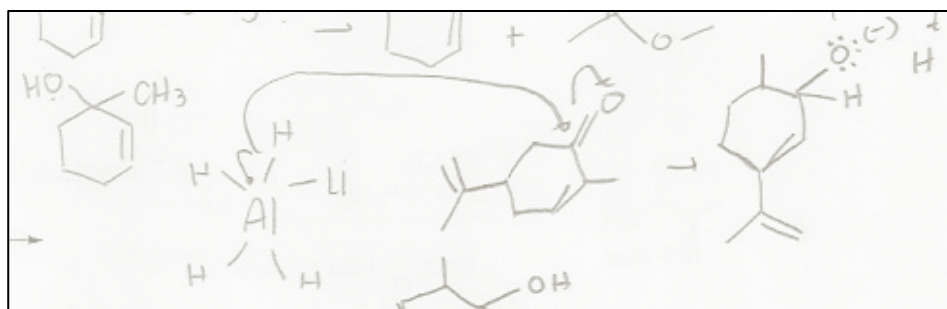


Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 15	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	Con	est
Solución	A	A	A	A	A	A	3x	3A		A	3A	i	6 ^a			
Adecuada							2i				2N					

Solución al problema 16

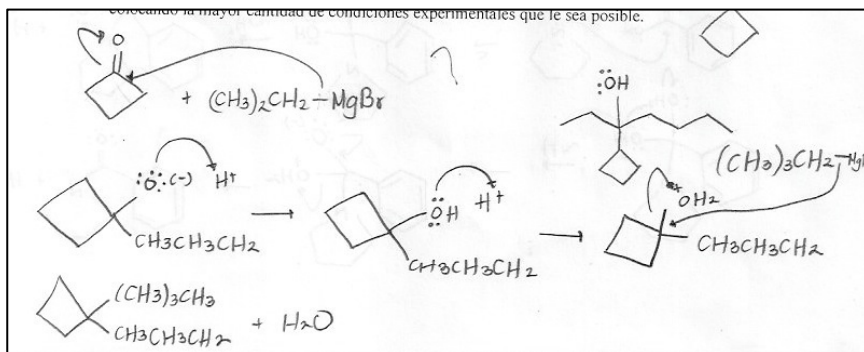
Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 16	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	Con	est
Solución	A						2x	4A			4A	i	4 ^a			
Incompleta		A	A	A	A	A	3i			A	N					

Solución al problema 17



Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 17	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	A	2A 4x	3A		A	6A	i	3A			N

Solución al problema 18



Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 18	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	Or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	A	3x 3A	4A		A	5A N	i				

Solución al problema 19

El problema 19 no pudo ser resuelto por la estudiante.

Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Solución
-----------	-------------	--	--	-------------	--	--	-------------	--	--	-------------	--	--	----------

Problema 19	sq	fqc	Eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	Mrxn	x
-------------	----	-----	----	----	-----	-----	----	----	----	---	----	------	---

Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5		
-----------	-------------	--	--	-------------	--	--	-------------	--	--	-------------	--	--	-------------	--	--

Problema 19	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
-------------	----	-----	----	----	-----	-----	----	----	----	---	----	------	----	----	-----	-----

Solución No resuelve

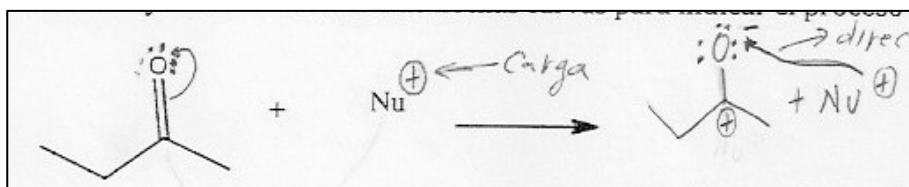
Solución al problema 20

El problema 20 no pudo ser resuelto por la estudiante, por lo tanto no se registran datos.

Caso Cata	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 1	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución	No resuelve															

Caso 3: Lina

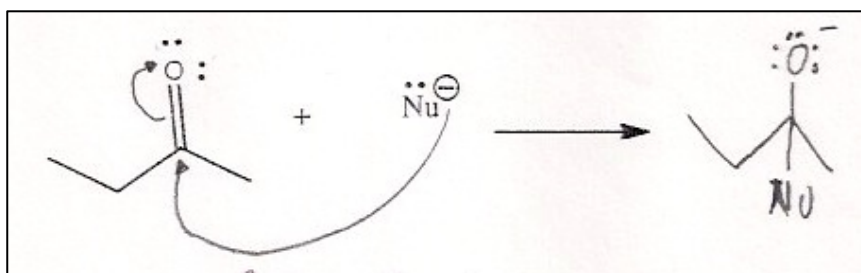
Solución al problema 1



Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 1	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución	A	A	A	A	A	A	2A	A	A	A	A	N				
No adecuada							x	N	2N		N		A			

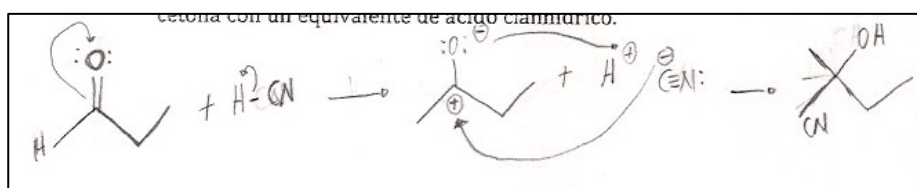
Siglas **sq**: símbolos químicos, **fqc**: fórmula química de composición, **eq**: ecuación química, **vq**: valencia química, **fqe**: fórmula química estructural, **eqe**: ecuación química estructural, **pe**: pares de electrones, **ce**: cargas eléctricas, **ac**: aniones y cationes, **p**: polaridad, **rb**: notación de Robinson, **mrnx**: mecanismo de la reacción, **gm**: geometría molecular, **or**: orbitales, **con**: conformaciones, **est**: estereoquímica. Con respecto a los descriptores A: Adecuado, i: incompleto, N: no adecuado, X: no utiliza.

Solución al problema 2



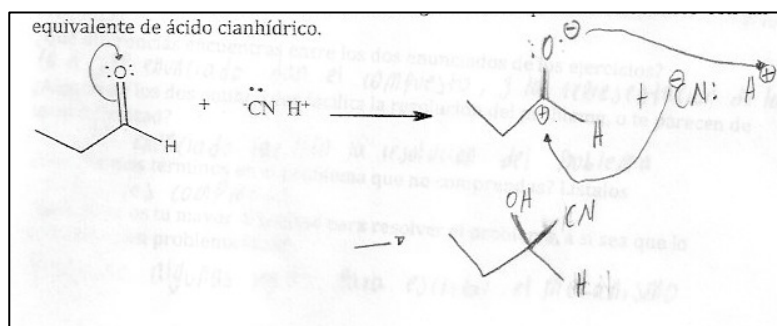
Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 2	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución	A	A	A	A	N	i	A		A	A	A	i				
Adecuada												N		A		

Solución al problema 3



Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 3	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	i	2x	2A	4A	A	2A	i	2A			
					N		i				2N		N			

Solución al problema 4



Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 4	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	i	x	3A	4A	A	A	i	2 ^a			
					N		i				2N					

Solución al problema 5

Para el enunciado Cata escribe "Haga el mecanismo de reacción que se da entre el aldehído y las dos especies químicas, 1. Nü 2.H₂O "

Los términos químicos utilizados son pocos, presenta una coherencia media para los conceptos del enunciado.

Cuando se pregunta, ¿considera que al mecanismo de reacción le puede faltar algo?, responde correctamente, identificando el grupo hidroxilo libre después de la protonación del alcohol, el cual lo dibuja adecuadamente incluyendo la carga y sus pares de electrones libres.

Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 5	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	-	A	A	A	A	-	-					

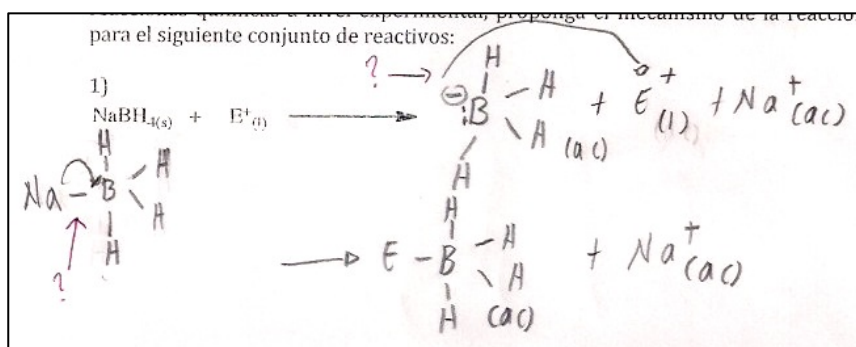
Solución al problema 6

La siguiente tabla lista los descriptores utilizados en el análisis del problema 6:

Enunciado	6.1	6.1'	6.2	6.2'	6.3	6.3'
Cantidad de conceptos utilizados	Alta	Media	Baja	Baja	Baja	Ninguno
Relación entre conceptos	Media	Media	Media	Media	Media	Ninguno
Coherencia	Media	Media	Media	Media	Alta	Ninguno
Solución del problema	Incompleto	Incompleto	Incompleto	Incompleto	Incompleto	No adecuado
Observaciones		Incluye dos de los nuevos términos mejora la descripción	Utiliza algunos de los conceptos que no han sido introducidos	Utiliza los conceptos introducidos, HOMO Pi, adecuadamente	Son utilizados conceptos claves adecuadamente,	Utiliza términos en la descripción que mejoran la relación entre conceptos

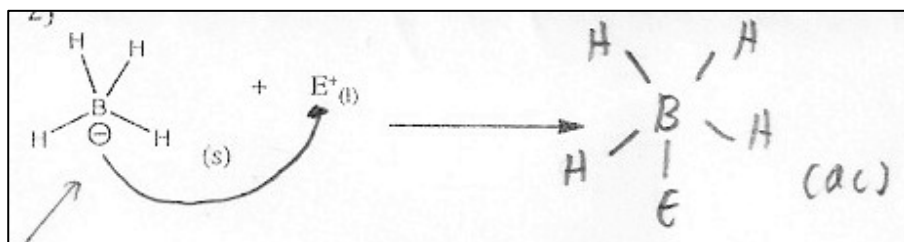
La introducción de los nuevos términos no generan una mejor descripción, estos prefieren no ser utilizados, a pesar que se menciona que estos términos si pueden ayudar a mejorar la descripción

Solución al problema 7



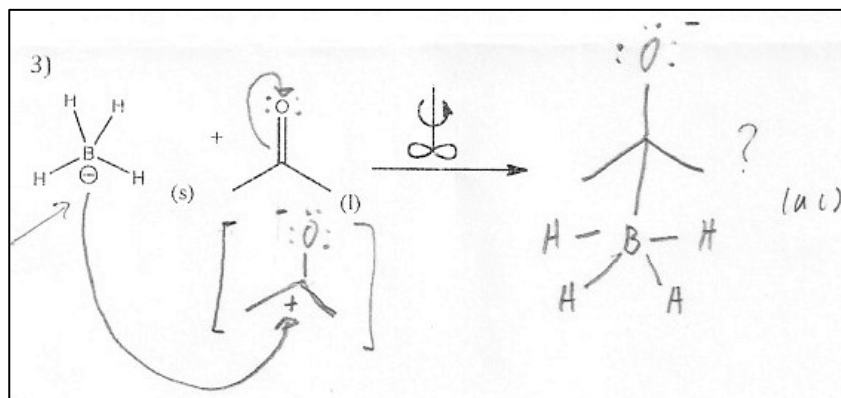
Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 7	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	N	N	N	2N	3N	2A	A	2N	N	3N			

Solución al problema 8



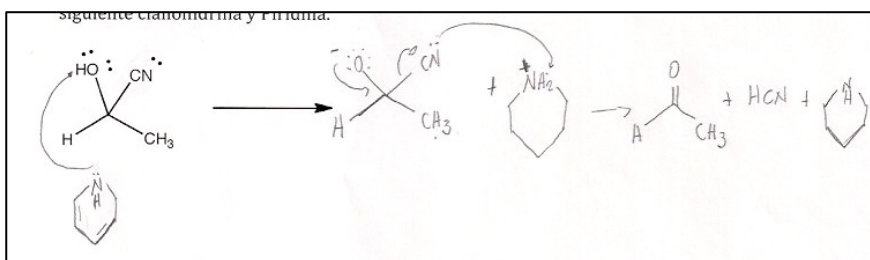
Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 8	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	Gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	N	A	N	N	N	N		N	N	N	N	N			

Solución al problema 9



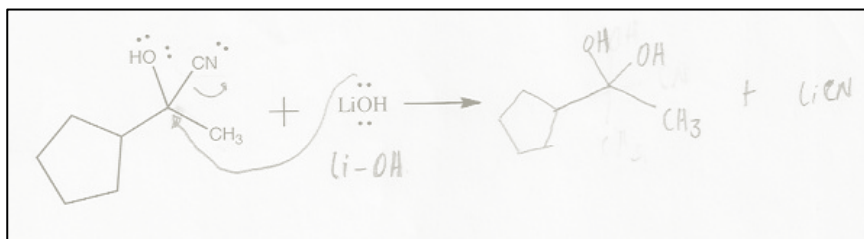
Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 9	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	Or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	i	2A	2A	2A	A	A	i	3N			

Solución al problema 10



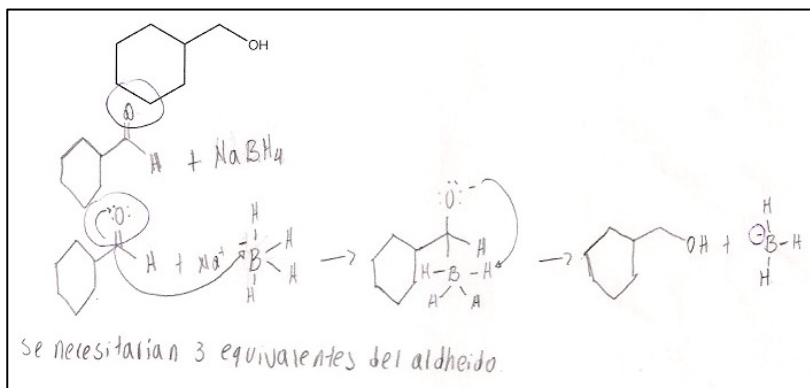
Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 10	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	i	2A	2A	2A	A	3A	A	2A			3N

Solución al problema 11



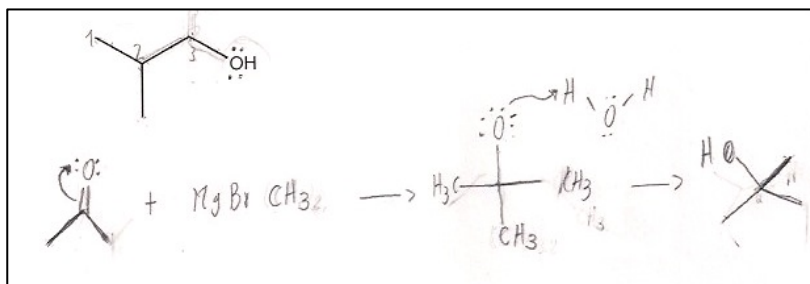
Caso Lina	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 11	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A		3x	x	x	A	2A	i	2ª			

Solución al problema 12



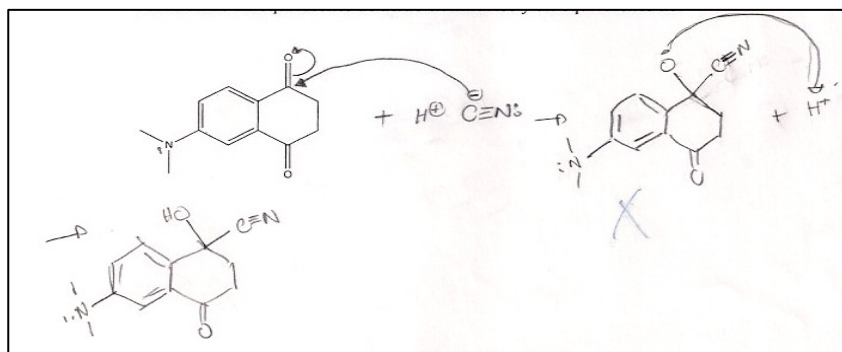
Caso Lina	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 12	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	Est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	i	2A	2A	3A	N	A	i	4A			
			N	N			2x	N	N		2N		2N			

Solución al problema 13



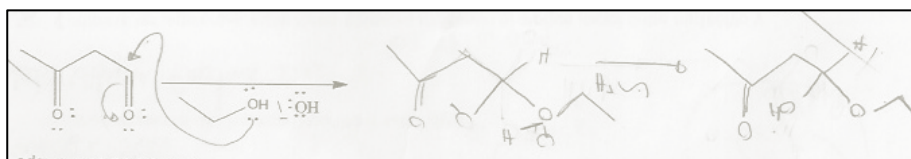
Caso Lina	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 13	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	Est
Solución Incompleto	A	N	A	A	A	i	3A	N	A	A	A	2A	i	2A		
			N				x						N			

Solución al problema14



Caso Lina	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 14	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	Or	con	est
Solución	A	A	A	A	A	A	2A	3A	A	A	3A	N				
No Adecuada							4x						2A			

Solución al problema15



Caso Lina	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 15	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	Or	con	est
Solución	A						3x				3A					
Adecuada		A	A	A	A	A	2i	3A		A		2N	i	2ª		

Solución al problema16

El problema 16 no pudo ser resuelto por la estudiante, en esta semana se encontraba incapacitada, por lo tanto, no se registran datos.

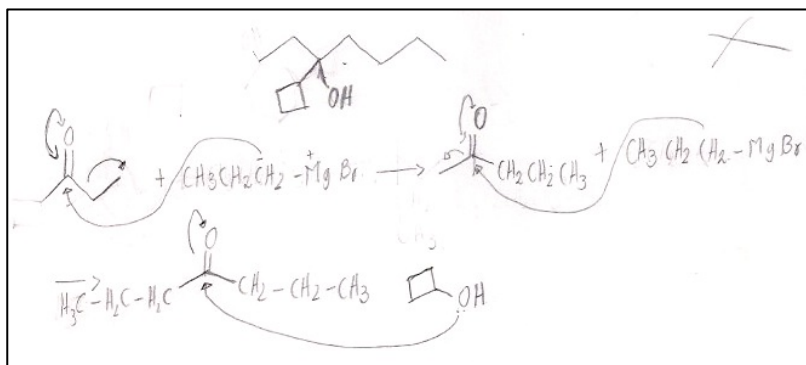
Caso Lina	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5						
Problema 16	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	Est
Solución																
No resuelve																

Solución al problema 17

El problema 17 no pudo ser resuelto por la estudiante, en esta semana se encontraba incapacitada, por lo tanto no se registran datos.

Caso Lina	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 17	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	Est
Solución																
No resuelve																

Solución al problema 18



Caso Lina	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 18	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	Est
Solución																
No Adecuada	A	A	A	A	A	A	6x	2N		i	2A	i	2A			2i

Solución al problema 19

El problema 19 no pudo ser resuelto por la estudiante, por lo tanto, no se registran datos.

Caso Lina	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 19	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución																
No resuelve																

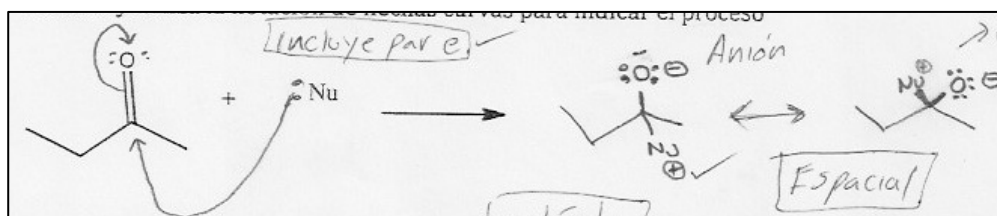
Solución al problema 20

El problema 20 no pudo ser resuelto por la estudiante, por lo tanto no se registran datos.

Caso Lina	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 20	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución	No resuelve															

Caso 4: Alejo

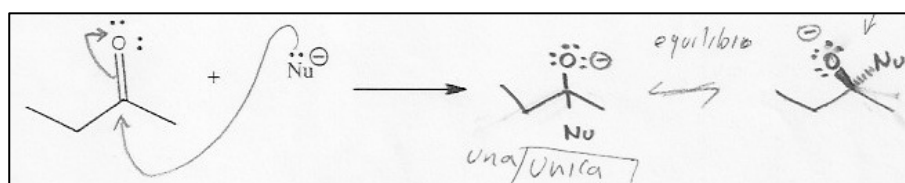
Solución al problema 1



Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 1	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución	A	A	A	A	A	A	4A	2A	2A	A	2A	A	2 ^a			A
Adecuada																

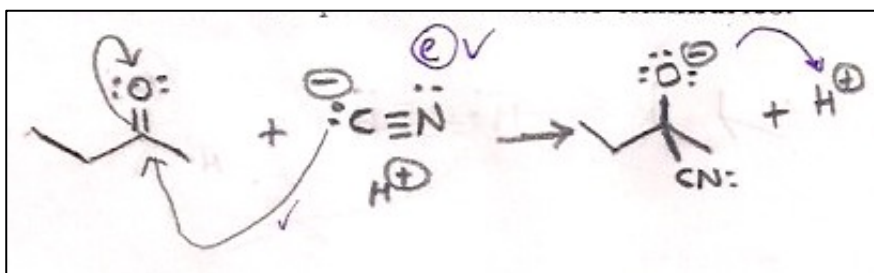
Siglas **sq**: símbolos químicos, **fqc**: fórmula química de composición, **eq**: ecuación química, **vq**: valencia química, **fqe**: fórmula química estructural, **eqe**: ecuación química estructural, **pe**: pares de electrones, **ce**: cargas eléctricas, **ac**: aniones y cationes, **p**: polaridad, **rb**: notación de Robinson, **mrnx**: mecanismo de la reacción, **gm**: geometría molecular, **or**: orbitales, **con**: conformaciones, **est**: estereoquímica. Con respecto a los descriptores A: Adecuado, i: incompleto, N: no adecuado, X: no utiliza.

Solución al problema 2



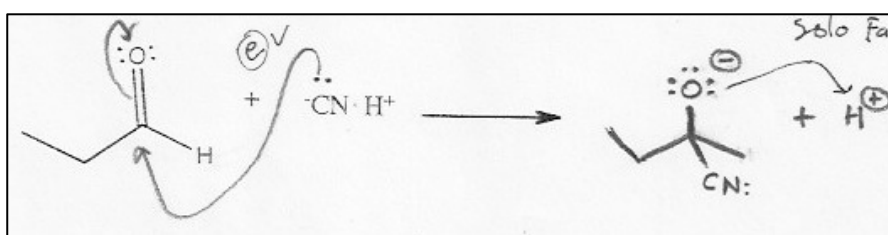
Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 2	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	N	i	2A	2A		A	2A	A	2ª			A

Solución al problema 3



Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 3	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	A	A	A	A	3A	3A	A	A	2A	i	3A			

Solución al problema 4



Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 4	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	A	A	A	A	A	2A	2A	A	2A	i	A			

Solución al problema 5

Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 5	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	i	A	-	i	x	x	x	A	-	-				

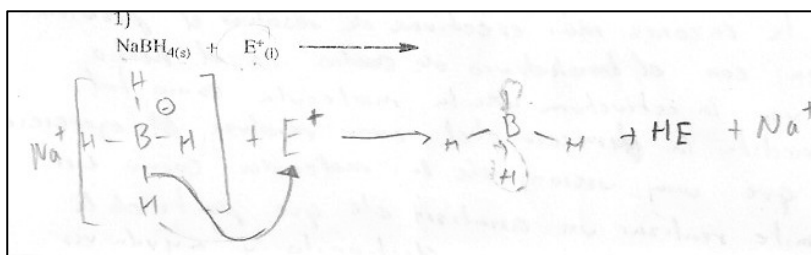
La siguiente tabla lista los descriptores utilizados en el análisis del problema 6:

Enunciado	6.1	6.1'	6.2	6.2'	6.3	6.3'
Cantidad de conceptos utilizados	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Relación entre conceptos	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alta
Coherencia	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Media
Solución del problema	Adecuada	Incompleto	Adecuada	Adecuada	Adecuada	Incompleto
Observaciones		Incluye dos de los nuevos términos mejora la descripción	Utiliza algunos de los conceptos que no han sido introducidos	Utiliza los conceptos introducidos, HOMO, Pi, adecuadamente	Son utilizados conceptos claves adecuadamente,	Utiliza términos en la descripción que mejoran la relación entre conceptos

Es alto el uso de conceptos antes y después de incluir nuevos términos, y son utilizados con buena coherencia, aunque persisten algunas imprecisiones.

Solución al problema 7

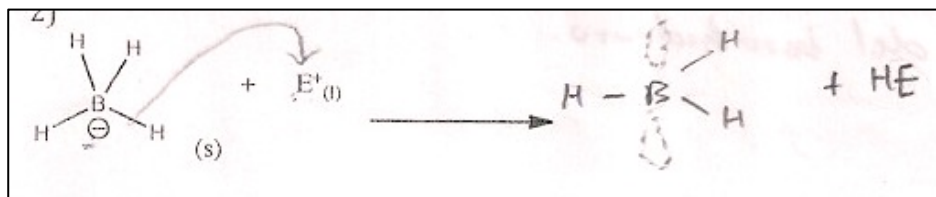
El problema es resuelto en parejas.



Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 7	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	Or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	$3N_i$	4A	A	A	A	A	2 ^a	A		

Solución al problema 8

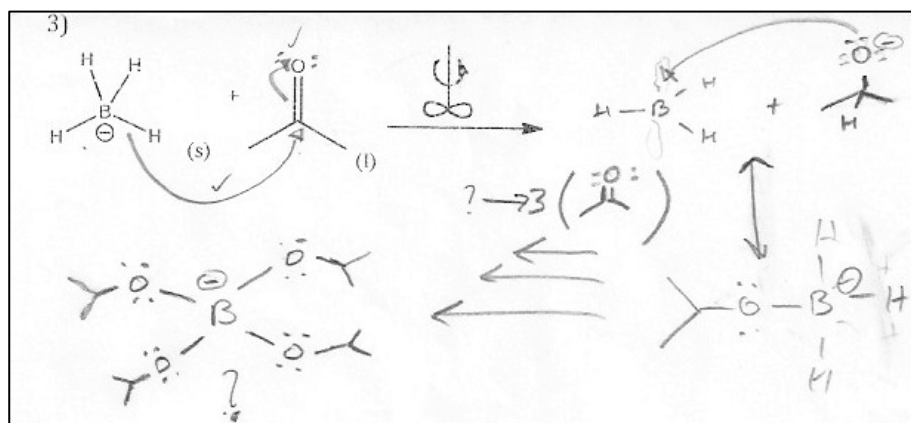
El problema es resuelto en parejas.



Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 8	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	i	i	A	2A	A	A	A	A	A	A		

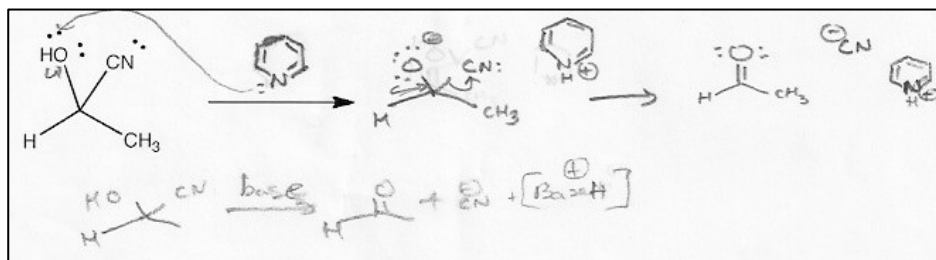
Solución al problema 9

El problema es resuelto en parejas.



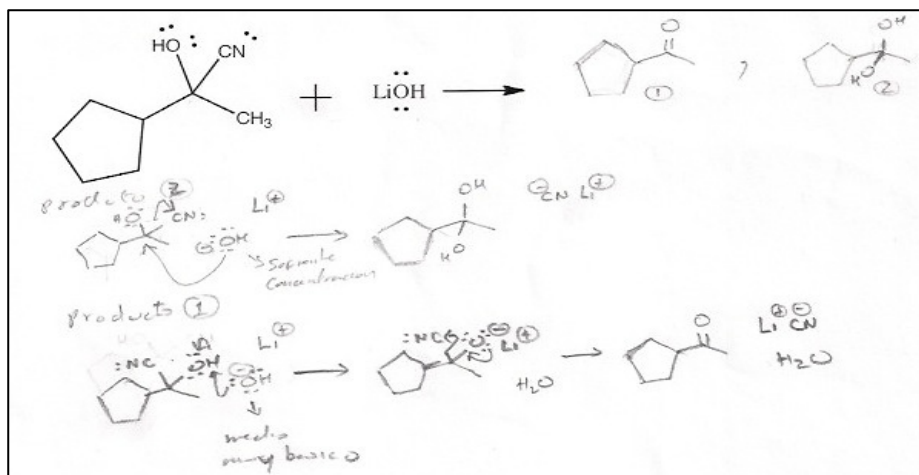
Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 9	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	i	i	6A	6A	A	A	3A	i	3A			

Solución al problema 10



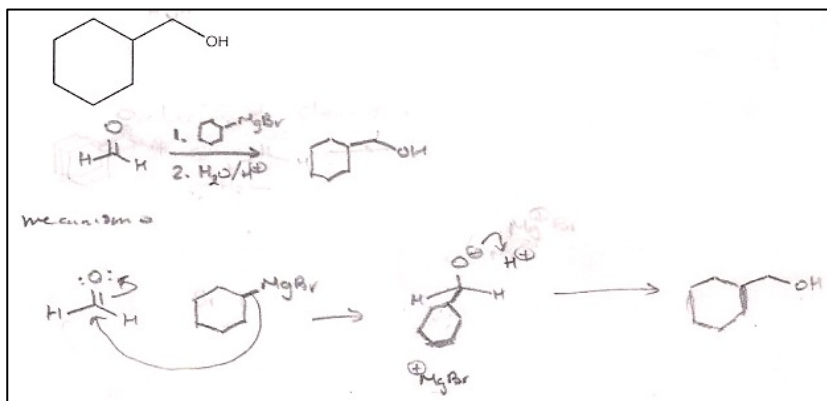
Caso Alejo	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 10	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	4A x	4A	4A	A	3A N	i	5 ^a			

Solución al problema 11



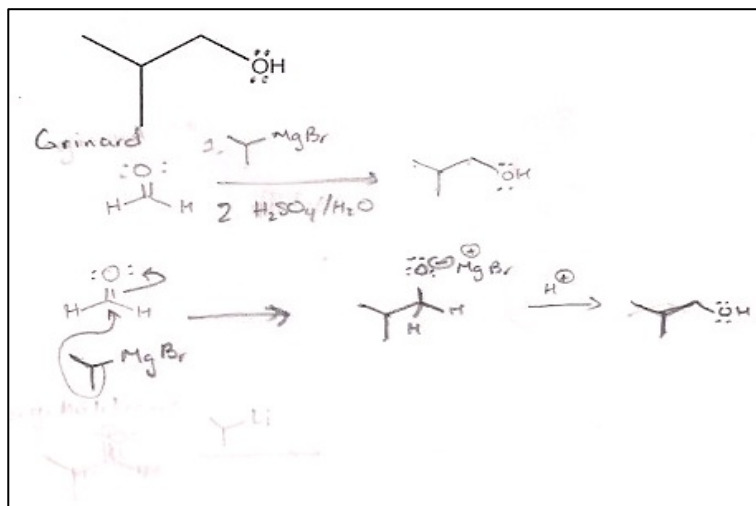
Caso Alejo	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 11	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	3A 5x	7A	7A	A	6A	A	7 ^a			

Solución al problema 12



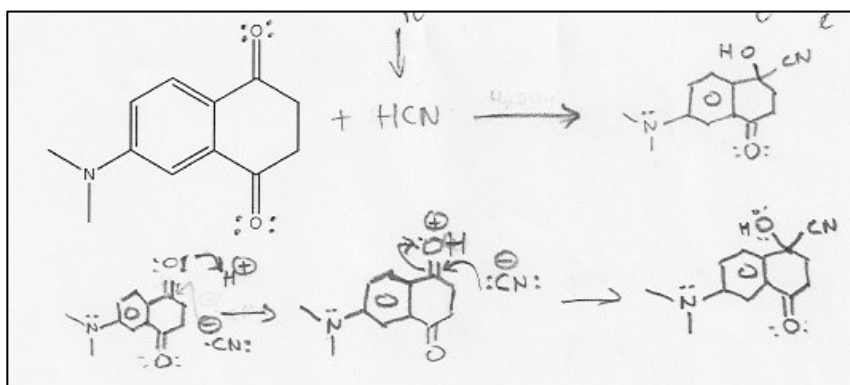
Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 12	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	Or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	A	2A	3A	A	2A	A				

Solución al problema 13



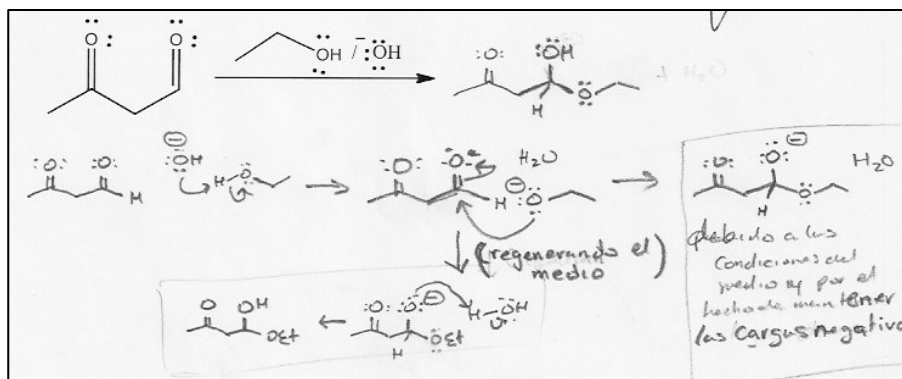
Caso Alejo	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 13	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	3A	3A	3A	A	2A	A	7 ^a			

Solución al problema 14



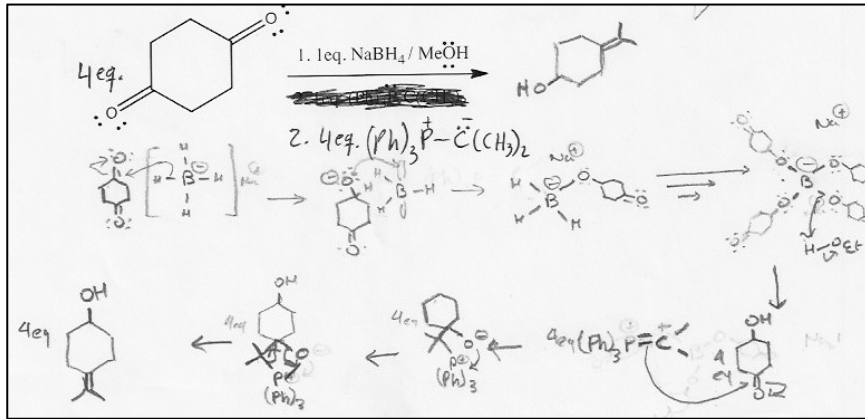
Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 14	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución							A									
No Adecuada	A	A	A	A	A	A	x	4A	4A	A	3A	A	4A			
							3i									

Solución al problema 15



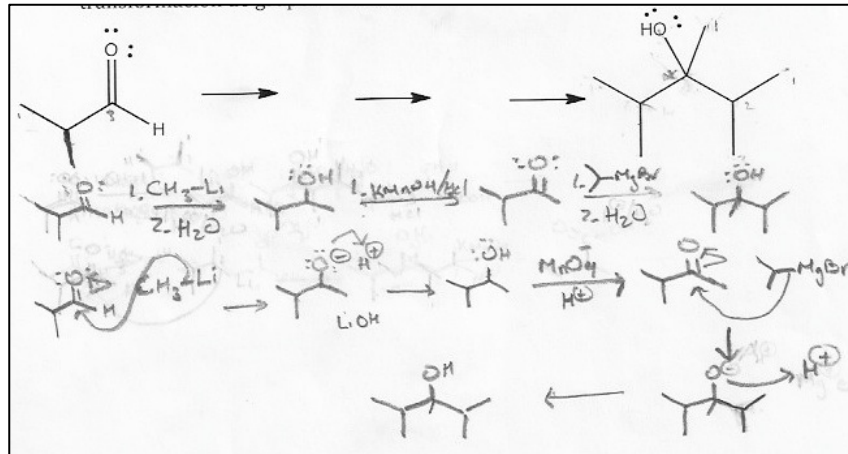
Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 15	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución	A	A	A	A	A	A	7A	3A	3A	A	6A	A	7A			
Adecuada																

Solución al problema 16



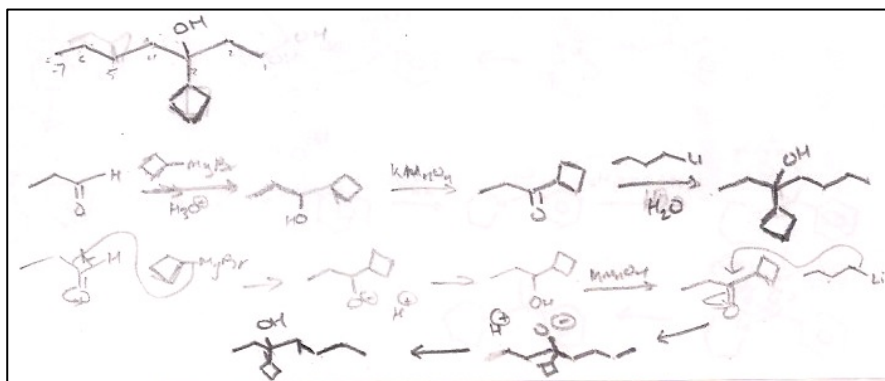
Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 16	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	4A	7A	7A	A	10A	A	2i	A		
							5x									
													6A			
																N

Solución al problema 17



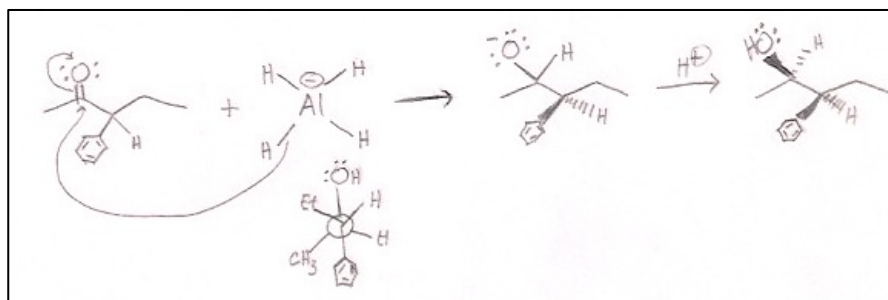
Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 17	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	Or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	7A	6A	5A	A	4A	A	10A			
							6x				N					

Solución al problema 18



Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 18	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	i	8x	4A	A	A	4A	i	12A			
					N						2x					

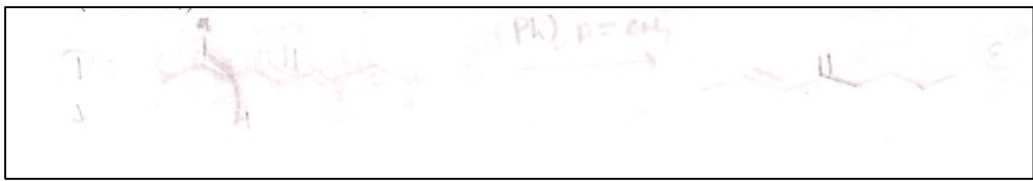
Solución al problema 19



Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 19	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	A	A	A	A	A	A	4A	A		A	A	i	3A		2A	3A
													N			

Solución al problema 20

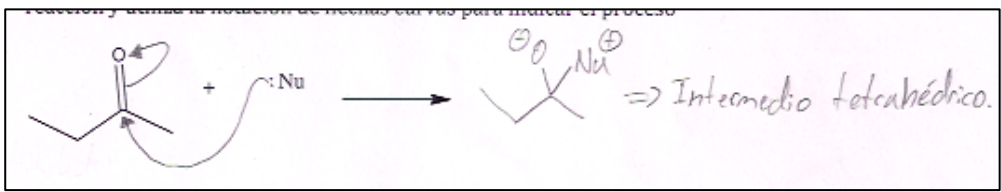
El problema 20 no pudo ser resuelto por el estudiante.



Caso Alejo	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Problema 20	sq fqc eq vq fqe eqe pe ce ac p rb mrxn Gm or con est				
Solución	No realiza				

Caso 5: Niko

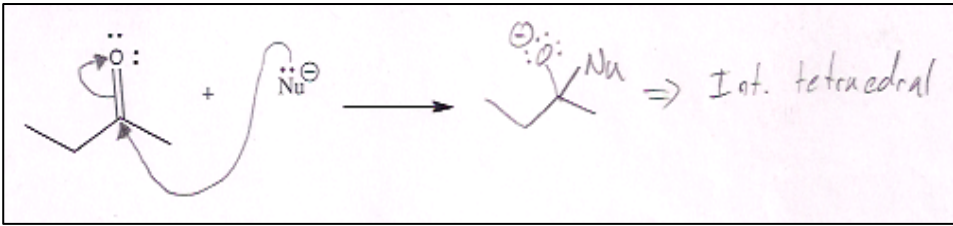
Solución al problema 1



Caso Niko	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Problema 1	sq fqc eq vq fqe eqe pe ce ac p rb mrxn gm or Con est				
Solución Adecuada	A A A A A A	A A	2A 2A	A 2A	A A A

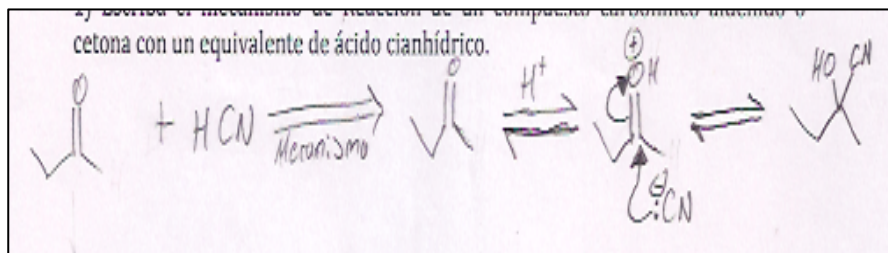
Siglas **sq**: símbolos químicos, **fqc**: fórmula química de composición, **eq**: ecuación química, **vq**: valencia química, **fqe**: fórmula química estructural, **eqe**: ecuación química estructural, **pe**: pares de electrones, **ce**: cargas eléctricas, **ac**: aniones y cationes, **p**: polaridad, **rb**: notación de Robinson, **mrxn**: mecanismo de la reacción, **gm**: geometría molecular, **or**: orbitales, **con**: conformaciones, **est**: estereoquímica. Con respecto a los descriptores **A**: Adecuado, **i**: incompleto, **N**: no adecuado, **X**: no utiliza.

Solución al problema 2



Caso Niko	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 2	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	2A	A	A		A	

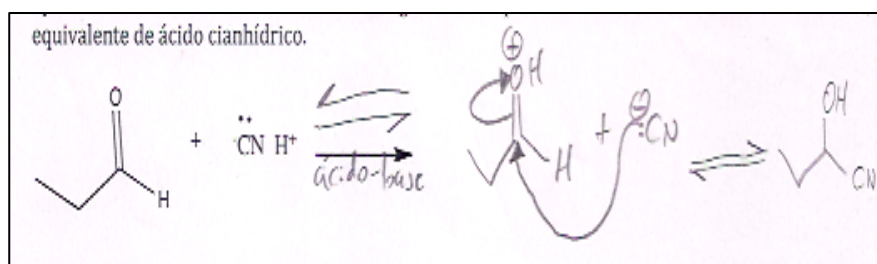
Solución al problema 3



Caso Niko	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 3	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	i	A	A	A	A	3A	3A	A	2A	A	A		A	

6x

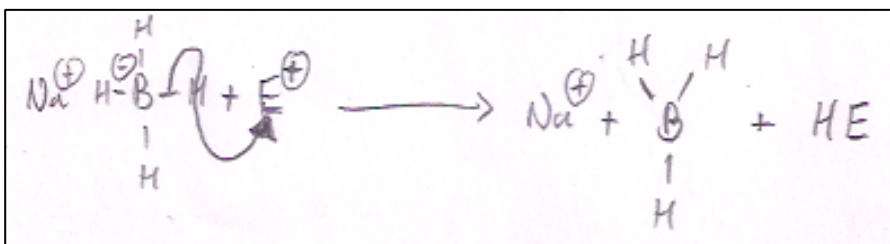
Solución al problema 4



Caso Niko	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 4	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	A	2A	2A	A	2A	A	A		A	

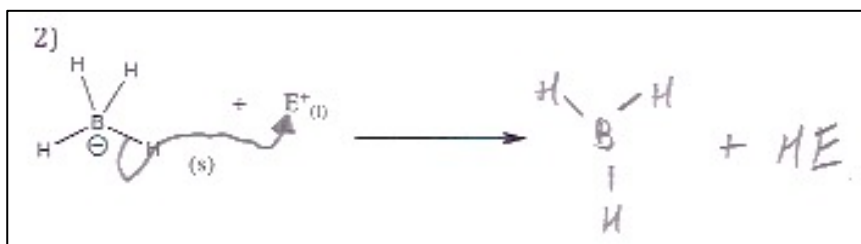
4X

Solución al problema 5



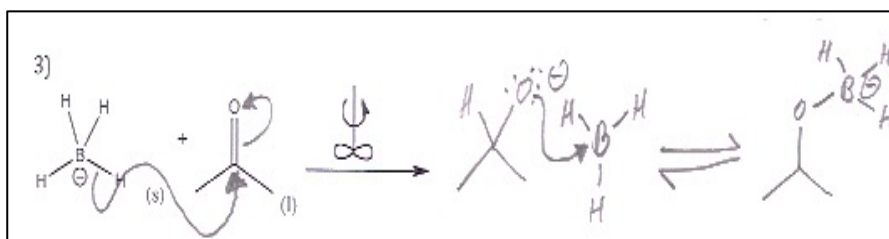
Caso Niko	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 7	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	i	A	A	A	A	4A	A	A	A	A	A	N		

Solución al problema 8



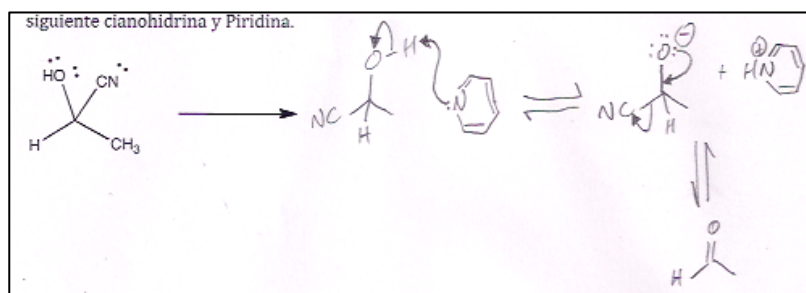
Caso Niko	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 8	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	Gm	Or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	i	A	A	A	A	A	A	A	N		

Solución al problema 9



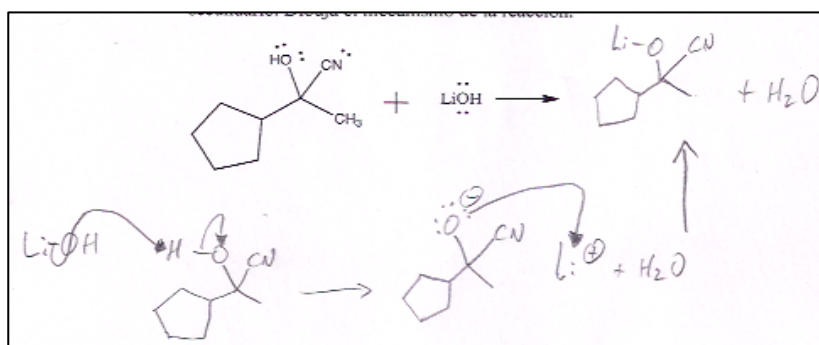
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5					
Problema 9	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	A	A	A	A	1A 2X	2A	A	A	3A	i	2A N			

Solución al problema 10



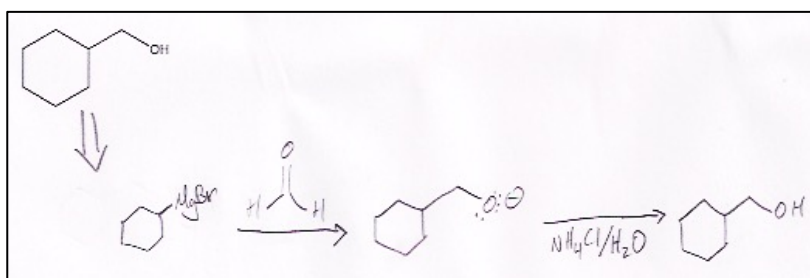
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5					
Problema 10	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	2A 4x	2A	A	A	4A	A	4A			

Solución al problema 11



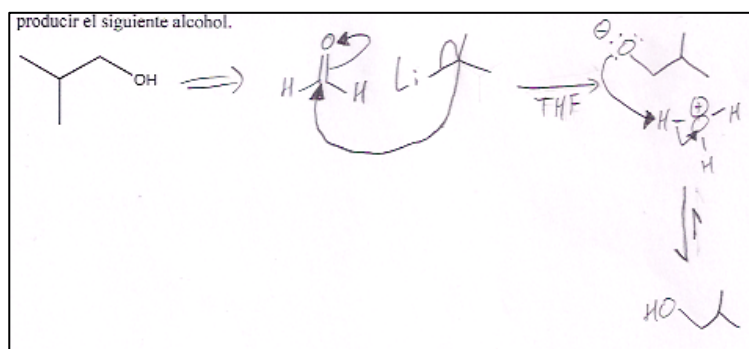
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5					
Problema 11	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No adecuada	A	A	A	A	A	A	2A 6x	2A	A	A	3A	i	3A			

Solución al problema 12



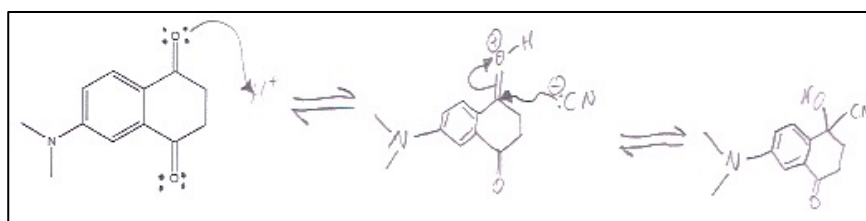
Caso Niko	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 12	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución adecuada	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	X	i	4A			

Solución al problema 13



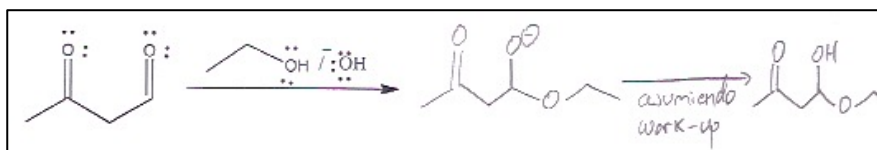
Caso Niko	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 13	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución adecuada	A	A	A	A	A	A	A	2A	A	A	4A	A	4ª			

Solución al problema 14



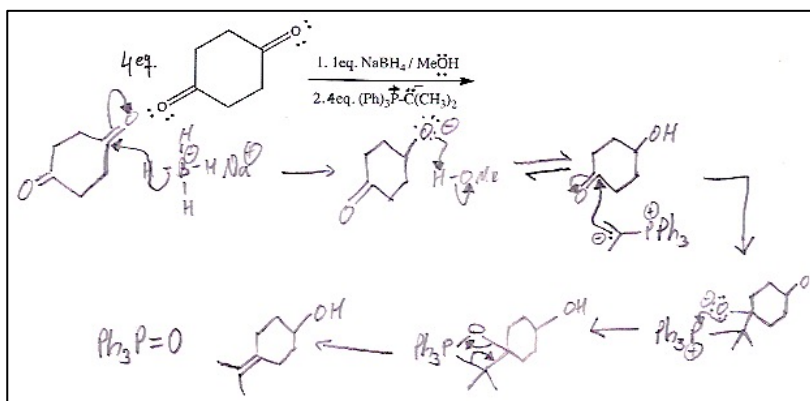
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 14	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	con	est
Solución No adecuada	A	A	A	A	A	A	6x	2A	A	A	3A	i	A	N		

Solución al problema 15



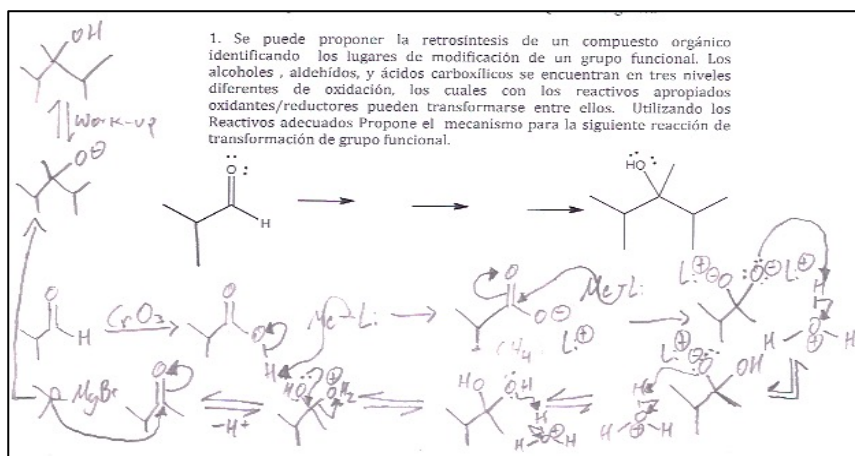
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 15	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	A	A	A	A	6X	A	A	A	X	i	2A		2A	

Solución al problema 16



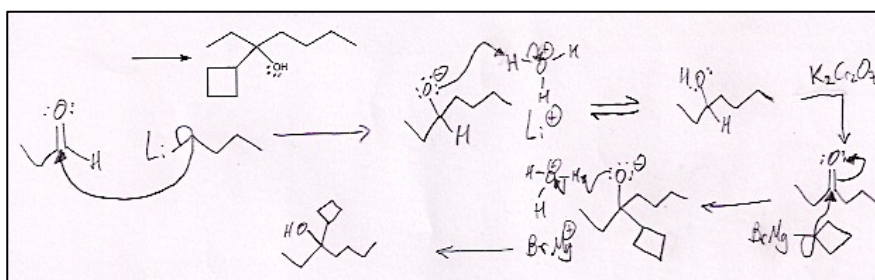
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 16	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	3A 11x	7A	A	A	9A	A	6A N		2A	

Solución al problema 17



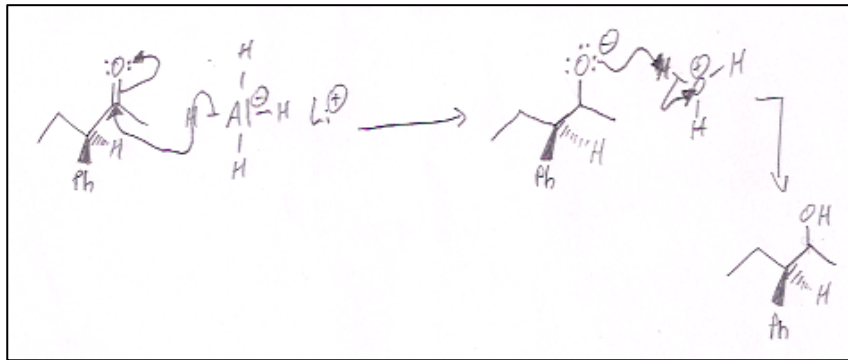
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5				
Problema 17	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No adecuada	3A	A	A	A	A	A	4A	10A	6A	A	14A	N	8A		3A	

Solución al problema 18



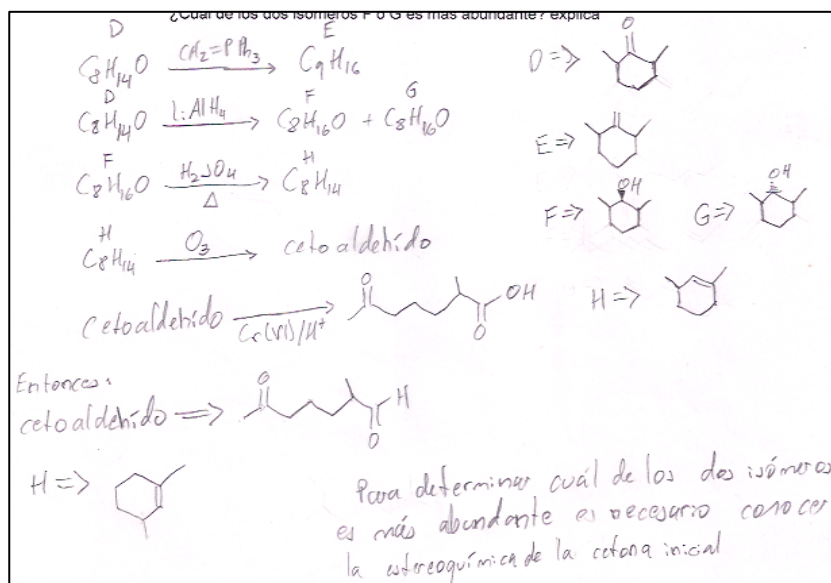
Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5				
Problema 18	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	5A	6A	A	A	7A	A	7A		2A	A

Solución al problema 19



Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 19	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	or	con	est
Solución Incompleta	A	A	A	A	A	A	2A 2x	4A	4A	A	4A	i	3A N		2A	2A 2x

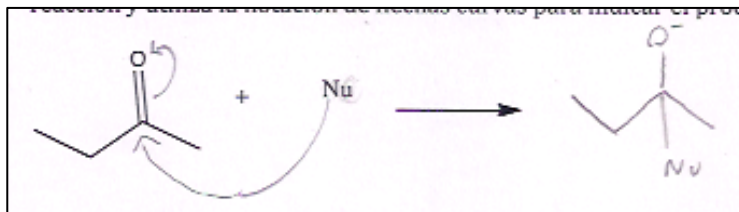
Solución al problema 20



Caso Niko	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Categoría 5							
Problema 20	sq	fqc	eq	vq	Fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnxn	gm	Or	con	est
Solución Incompleta	A	A	A	A	A	A	8x	A	A	A	A	i	7A		3A	2A 2N

Caso 5: Carlos

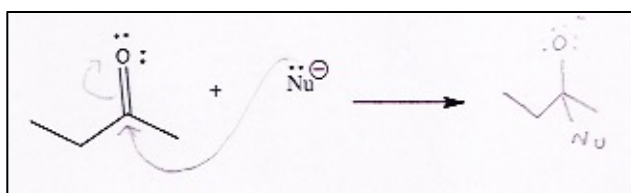
Solución al problema 1



Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 1	sq	fqc	eq	vq	Fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	2X	A	A	A	A	i	A			

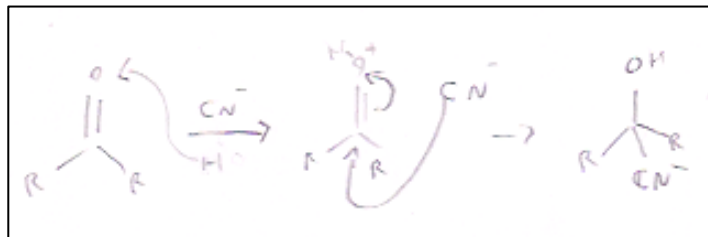
Siglas **sq**: símbolos químicos, **fqc**: fórmula química de composición, **eq**: ecuación química, **vq**: valencia química, **fqe**: fórmula química estructural, **eqe**: ecuación química estructural, **pe**: pares de electrones, **ce**: cargas eléctricas, **ac**: aniones y cationes, **p**: polaridad, **rb**: notación de Robinson, **mrnx**: mecanismo de la reacción, **gm**: geometría molecular, **or**: orbitales, **con**: conformaciones, **est**: estereoquímica. Con respecto a los descriptores A: Adecuado, i: incompleto, N: no adecuado, X: no utiliza.

Solución al problema 2



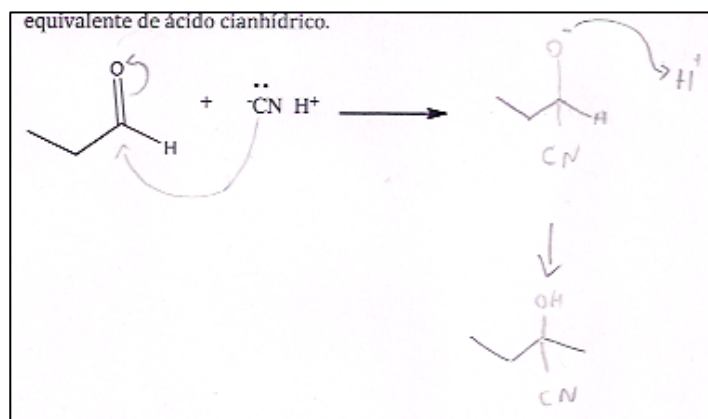
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 2	sq	fqc	eq	vq	Fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	2A	A	A			

Solución al problema 3



Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 3	sq	fqc	eq	vq	Fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Incompleta	4A	A	A	3A	3ª	A	6X	3A N	3A N	A	i N	i	3A			

Solución al problema 4



Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4		Categoría 5				
Problema 4	sq	fqc	eq	vq	Fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	2A	A	A	2A	2ª	A	4X	2A	2A	A	2A N	i	2A			

Solución al problema 5

Para el enunciado Carlos escribe: “A partir de un aldehído, y utilizando como reactivos un nucleófilo (Nu⁻) y agua formar un alcohol primario.”

Los términos químicos utilizados son:

Aldehído, el cual no describe el aldehído que se muestra en el enunciado.

Nucleófilo, se representa adecuadamente con su par de electrones y su carga eléctrica.

Alcohol primario, donde especifica el tipo de producto de la reacción, comprende que proviene de un aldehído como reactivo.

Agua, reconoce esta sustancia como componente de la reacción y necesario para alcanzar la estructura final del producto, el alcohol.

Se atribuye una coherencia alta al enunciado, buen uso de conceptos químicos.

Cuando se pregunta, ¿considera que al mecanismo de reacción le puede faltar algo?, responde que No. No identifica los pares de electrones libres faltantes ni el subproducto de la reacción el anión hidroxilo.

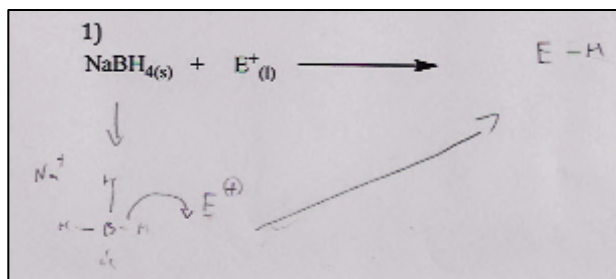
Solución al problema 6

La siguiente tabla lista los descriptores utilizados en el análisis del problema 6:

Enunciado	6.1	6.1'	6.2	6.2'	6.3	6.3'
Cantidad de conceptos utilizados	Alta		Alta		Alta	Baja
Relación entre conceptos	Alta		Alta		Alta	Baja
Coherencia	Alta		media		Alta	Media
Solución del problema	Adecuada		Incompleto		Adecuada	No adecuada
Observaciones	Identifica erróneamente la hibridación como sp^3	Los nuevos términos ya han sido utilizados en la descripción	Afirma que no puede mejorar la descripción puesto que utilizó los términos.		Utiliza muchos términos propios del tema.	No realiza la descripción

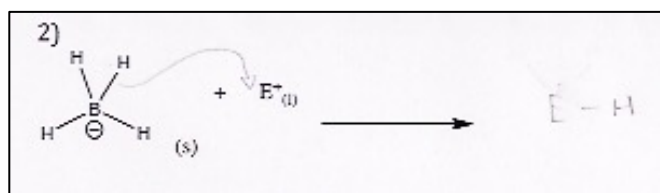
Realiza una muy buena descripción de los enunciados, utiliza términos de forma apropiada, solo comete dos imprecisiones referentes a la hibridación y a los niveles de energía del carbono. Presenta mucha claridad en los conceptos reflejado en el uso de estos.

Solución al problema 7



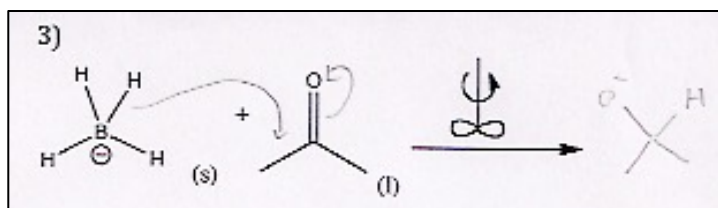
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 7	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	Mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A		A	A		i	I	A			

Solución al problema 8



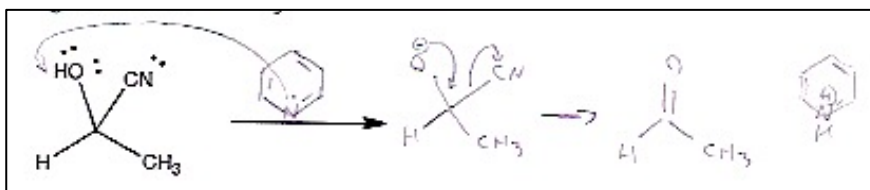
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 8	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A							A	A	A			

Solución al problema 9



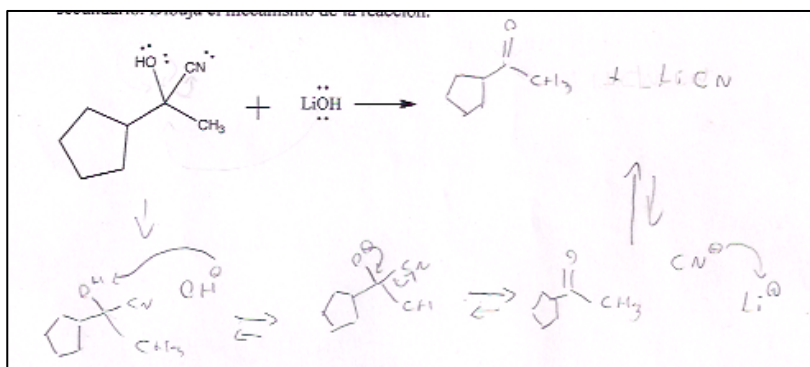
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 9	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Adecuada	A	A	A	A	A	A	X	A	A	A	2A	A	N			

Solución al problema 10



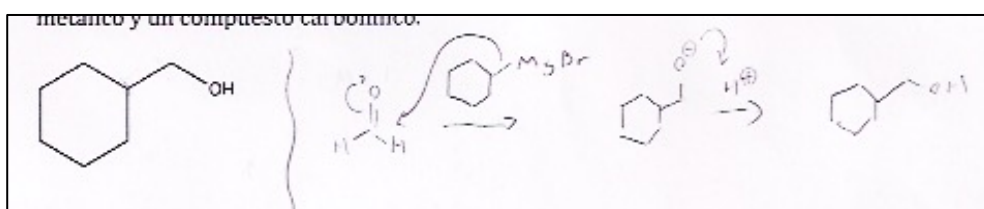
Caso Carlos	Categoría					Categoría					Categoría				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Problema 10	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	con est
Solución Adecuada	4A	A	A	3A	3A	A	A	2A	2A	A	3A	A	3A		

Solución al problema 11



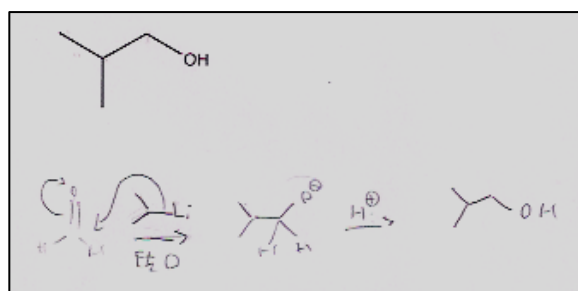
Caso Carlos	Categoría					Categoría					Categoría				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Problema 11	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	con est
Solución Adecuada	6A	A	I	5A	2A	A	9X	4A	4A	A	A	A	4A		

Solución al problema 12



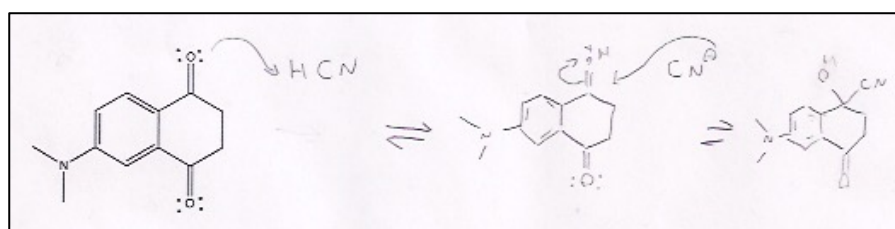
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5		
Problema 12	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	Con est
Solución Adecuada	4A	A	i	4A	4A	A	4X	2A	2A	A	2A i	i	4A		

Solución al problema 13



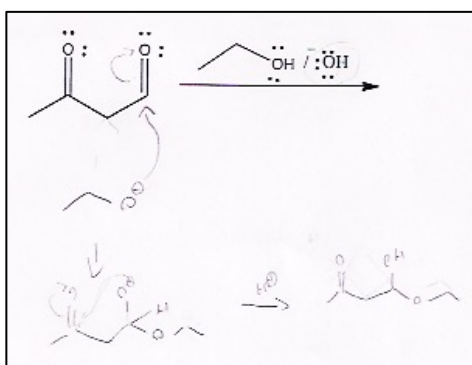
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5		
Problema 13	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	con Est
Solución Adecuada	5A	A	A	4A	3A N	i	4X	2A	2A	A	2A X	i	4A		

Solución al problema 14



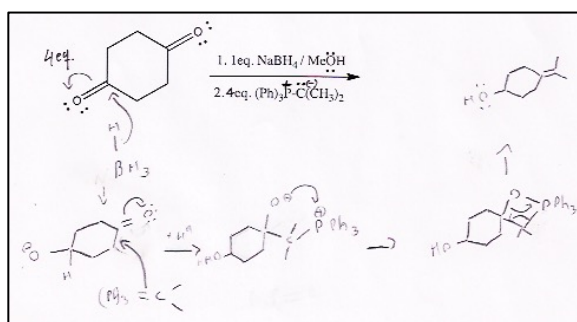
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5		
Problema 14	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrnx	gm	or	con est
Solución No Adecuada	3A N	A	A	2A	2A	A	A 8X	2A	2A	A	2A N	i	2A		

Solución al problema 15



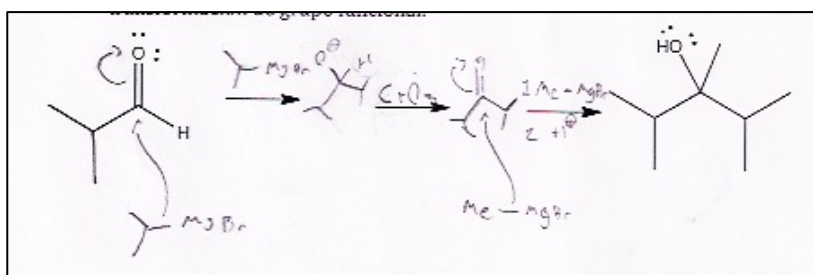
Caso Carlos	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 15	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	Rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	2A N	A	A	3A	3A	A	7X	3A	3A	A	2A 2N	N	3A			

Solución al problema 16



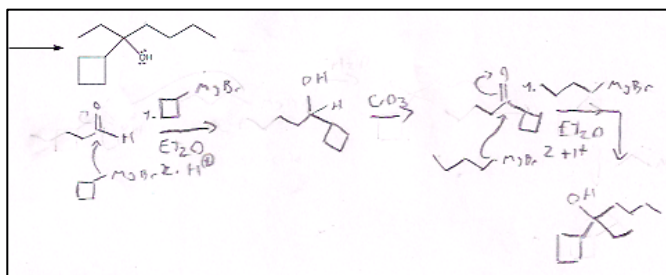
Caso Carlos	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5											
Problema 16	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	Ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Incompleto	4A N	2A	A	6A	4A 2N	A	2A 5X	3A N	3 ^a N	A	6A N	I	4A 2N			

Solución al problema 17



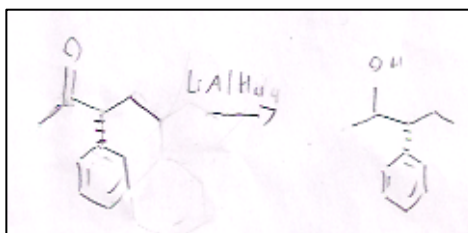
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 17	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	Mrxn	gm	or	con	Est
Solución Adecuada	6A N	2A	A	6A	6A	A	6X	2A	2A	A	4A 2x	A	6A			

Solución al problema 18



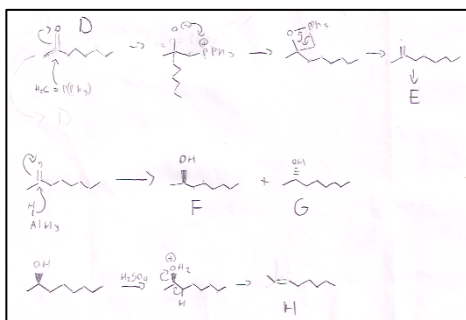
Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 18	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	Mrxn	gm	or	con	est
Solución Adecuada	9A N	3A	A	9A	8A	A	10X	-	-	-	4A 2N	A	6A N			

Solución al problema 19



Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 19	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	Gm	or	con	est
Solución Incompleto	3A	A	A	2A	2A	A	2X	x	x	-	x	x	2 ^a		x	2A

Solución al problema 20



Caso Carlos	Categoría 1			Categoría 2			Categoría 3			Categoría 4			Categoría 5			
Problema 20	sq	fqc	eq	vq	fqe	eqe	pe	ce	ac	p	rb	mrxn	gm	or	con	est
Solución No Adecuada	7A N	9A	A	9A	9A N	A	8X	3A	3A	A	8A N	i	9A	-	x	4A