



UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA
DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

TESIS DOCTORAL

**PROGRESIONES DE APRENDIZAJE EN EL ÁREA DEL ENLACE
QUÍMICO. ANÁLISIS DE COHERENCIA ENTRE CAPACIDADES
DE LOS ESTUDIANTES Y LAS REPRESENTACIONES USADAS
EN LOS LIBROS DE TEXTO**

MARTA LILIANA MATUS LEITES

MENDOZA, ARGENTINA

2009

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Marta Liliانا Matus Leites
D.L.: Gr. 155-2010
ISBN: 978-84-692-8378-3

UNIVERSIDAD DE GRANADA

**DOCTORADO EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS
Y LA TECNOLOGÍA**

**IMPARTIDO POR CONVENIO EN LA UNIVERSIDAD DE MENDOZA
POR EL DEPARTAMENTO DE
DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES
DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA**

TESIS DOCTORAL

**PROGRESIONES DE APRENDIZAJE EN EL ÁREA DEL ENLACE
QUÍMICO. ANÁLISIS DE COHERENCIA ENTRE CAPACIDADES
DE LOS ESTUDIANTES Y LAS REPRESENTACIONES USADAS
EN LOS LIBROS DE TEXTO**

AUTORA

Prof. Mgter. MARTA LILIANA MATUS LEITES

DIRECTORA

DIRECTORA

**Dra. ALICIA BENARROCH BENARROCH
UNIVERSIDAD DE GRANADA**

**Dra. NORA NAPPA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN**

EN MENDOZA, ARGENTINA, 2009

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a un gran número de personas e instituciones, que sin su colaboración, no hubiera sido posible la realización de esta tesis doctoral.

A los directores de tesis: Dra. Alicia Benarroch, quien a pesar de la distancia, siempre estuvo a mi lado, por su permanente e invaluable actitud de disposición, dedicación, generosidad, por las extensas y fructíferas jornadas de trabajo en Melilla, fruto de sus gestiones que posibilitaron mi viaje. A la Dra. Nora Nappa, por su apoyo incondicional y su colaboración, por dejarme hacer.

Al director del Programa de Doctorado: Dr. José Antonio Naranjo Rodríguez, por estar siempre presente.

A los profesores del Programa de Doctorado, especialmente a los Dres. Francisco González García, Javier Perales Palacios y Manuel Fernández González, por su apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos y generar en mí, interrogantes que hicieron posible esta investigación.

A cada uno de los 40 estudiantes que participaron pacientemente en las entrevistas, concediéndome varias horas de sus clases. Del mismo modo, a las autoridades y profesores de los Institutos Preuniversitarios de la Universidad Nacional de San Juan: Escuela Industrial “Domingo F. Sarmiento” y Escuela de Comercio “Libertador Gral. San Martín”, y de la Universidad Católica de Cuyo, por su gentileza y colaboración que me permitió distraer a los estudiantes de sus clases para realizar las entrevistas.

A los Directivos de los Institutos Preuniversitarios de la Universidad Nacional de San Juan: Escuela Industrial “Domingo F. Sarmiento” y Escuela de Comercio “Libertador Gral. San Martín”, por las licencias concedidas, beneficio insuperable para desarrollar esta tesis doctoral.

A mis compañeros y amigos de Doctorado: Raúl Pereira, Graciela Núñez, Raúl Moralejo, por compartir mis inquietudes y temores y, Liliana Mayoral, por su permanente predisposición y sugerencias.

A mis compañeros de Escuela Industrial “Domingo F. Sarmiento” y Escuela de Comercio “Libertador Gral. San Martín”, por acompañarme y apoyarme en esta etapa.

A mis amigos, por compartir esta experiencia y animarme a seguir adelante.

Finalmente, agradezco muy especialmente, a mi familia, por su permanente e inestimable apoyo, en todo momento.

ÍNDICE

Capítulo 1

PRESENTACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. Introducción	17
2. Planteamiento del Problema	18
3. Justificación del Problema	21
4. Objetivos Generales	28
5. Organización del Trabajo	29

Capítulo 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1. Aportaciones Teóricas de la Epistemología e Historia de los Modelos de Materia	31
1.1 Aportaciones Teóricas de la Historia de los Modelos de Materia	31
INTRODUCCIÓN (31); UNA MIRADA A LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL ENLACE QUÍMICO (34)	
1.2 Aportaciones Teóricas de la Epistemología de los Modelos de Materia	51
1.3 Implicaciones para la investigación que nos ocupa	54
2. Aportaciones teóricas desde la Psicología del Aprendizaje	57
2.1 El Enlace Químico y el Desarrollo Cognitivo del alumno	57
2.2 La Construcción del Conocimiento del estudiante	59
LAS REPRESENTACIONES MENTALES Y EL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA (61); REPRESENTACIONES PROPOSICIONALES (62); MODELOS MENTALES (62); IMÁGENES MENTALES (65); NUEVAS TENDENCIAS EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS (69)	
3. Aportaciones teóricas desde la Didáctica de las Ciencias	74
3.1 La Importancia de la Imagen en la Comunicación Multimodal	74
LAS IMÁGENES DESDE LA SEMIÓTICA (78); LAS IMÁGENES DESDE LA PSICOLOGÍA POPULAR Y LA PSICOLOGÍA COGNITIVA (81); EL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES: TEORÍA DE LA CODIFICACIÓN DUAL DE ALLAN PAIVIO (86); ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LAS IMÁGENES EN LOS	

	LIBROS DE TEXTO DE CIENCIAS (90)	
3.2	Las imágenes externas y el aprendizaje de la Química EL PAPEL DE LAS IMÁGENES EN LA QUÍMICA (94); REPRESENTACIONES O IMÁGENES DE ENLACES QUÍMICOS (99)	94
3.3	Concepciones y dificultades de aprendizaje relacionadas con el enlace químico RELACIONADAS CON LA NATURALEZA DEL ENLACE QUÍMICO (107); RELACIONADAS CON LOS TIPOS DE ENLACES QUÍMICOS (111); ENLACE IÓNICO (111); ENLACE COVALENTE (115); ENLACE METÁLICO (118)	107

Capítulo 3

ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES SOBRE ENLACE QUÍMICO EN LIBROS DE TEXTO

1.	Aspectos a considerar en el análisis de las imágenes de los libros de texto	121
1.1	ICONICIDAD (122); ESCALAS DE ICONICIDAD (122); RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL (126); ETIQUETA VERBAL (127); FUNCIÓN DE LA IMAGEN (128); FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA EN LA QUE APARECE LA ILUSTRACIÓN (129); ESTRUCTURA GRAMATICAL DE LAS IMÁGENES (130); CONTENIDO CIENTÍFICO QUE LAS SUSTENTA (130)	
2.	Instrumento usado para el análisis de las imágenes de enlace químico en libros de texto	130
3.	Análisis de las imágenes de enlace químico en los libros de texto para estudiantes de 12 años	137
3.1	RESULTADOS GLOBALES PARA LOS LIBROS DE TEXTO PARA ESTUDIANTES DE 12 AÑOS	151
4.	Análisis de las imágenes de enlace químico en los libros de texto para estudiantes de 15 años	155
4.1	RESULTADOS GLOBALES PARA LOS LIBROS DE TEXTO PARA ESTUDIANTES DE 15 AÑOS	173
5.	Análisis de las imágenes de enlace químico en los libros de texto para estudiantes de 18 años	179
5.1	RESULTADOS GLOBALES PARA LOS LIBROS DE TEXTO PARA ESTUDIANTES DE 18 AÑOS	207
6.	Comparación libros de texto para estudiantes de 12 años (EGB3) / 15 años (Polimodal) / 18 años (Universidad)	213
7.	Reflexiones finales	214

8. Implicaciones didácticas	217
-----------------------------	-----

Capítulo 4

HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1. Introducción: Presupuestos Metodológicos	219	
2. Hipótesis de trabajo	224	
2.1 Hipótesis relacionadas con la metodología usada en esta investigación para conocer los esquemas explicativos de los estudiantes	224	
2.2 Hipótesis fundamentadas en las investigaciones sobre concepciones en el área de enlace químico	226	
2.3 Hipótesis destinadas a validar el modelo cognitivo propuesto	227	
3. Justificación de la metodología de investigación	228	
3.1 Introducción: justificación y descripción de la metodología utilizada	228	
3.2 Justificación de la técnica utilizada: la entrevista individual	230	
4. Selección de la Muestra objeto de investigación	233	
4.1 Selección de los centros educativos	234	
4.2 Proceso de selección y características de los sujetos objetos de investigación	235	
5. Selección y diseño de las tareas que conforman el cuestionario	237	
5.1 Introducción: tarea significativa y tipos de preguntas realizadas	237	
5.2 Diseño de las preguntas fijas del cuestionario y descripción de las tareas	238	
TAREA A: MODELO UTILIZADO PARA REPRESENTAR EL AIRE Y EL AGUA DE MODO ESPONTÁNEO (239); TAREA B: MEZCLAS Y SUSTANCIAS PURAS (240); TAREA 1: CONSTRUCCIÓN DE MOLÉCULAS SEGÚN EL MODELO DE BOLAS Y VARILLAS A PARTIR DE LA FÓRMULA MOLECULAR (241); TAREA 2: CONCEPTUALIZACIÓN DE MACROMOLÉCULA (243); TAREA 3: MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS Y ECUACIONES QUÍMICAS (245); TAREA 4: AJUSTE DE ECUACIONES QUÍMICAS A PARTIR DE MODELOS REPRESENTACIONALES DE BOLAS Y VARILLAS (247); TAREA 5: INTRODUCCIÓN AL MODELO ATÓMICO ELECTRÓNICO (247); TAREA 6: FORMACIÓN DE IONES (251); TAREA 7: CAUSA DEL ENLACE QUÍMICO, EXPLICACIÓN DEL PROCESO DEL ENLACE E INDAGACIÓN DE LOS TIPOS DE ENLACE QUÍMICO (251); TAREA 8: FORMACIÓN DE ENLACES QUÍMICOS (252)		

6.	Fase de Realización de las Entrevistas Individuales	254
6.1	Condiciones físicas en la realización de las entrevistas individuales	254
6.2	Secuencia utilizada en la realización de la entrevista	255
6.3	Trascripción de las entrevistas	255
6.4	Algunos ejemplos representativos de entrevistas transcritas	256
7.	Categorización de los datos de la entrevista	256
7.1	Categorización de las respuestas	256
8.	Posiciones y puntuaciones definitivas de los resultados de la entrevista	258

Capítulo 5

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE DATOS

1.	Introducción	261
2.	Entrada de datos en el paquete estadístico SPSS 15.0	263
3.	Análisis estadístico de variables	263
3.1	Análisis de la matriz de correlaciones	263
3.2	Análisis Factorial de variables	266
3.3	Conclusiones del análisis estadístico de variables	270
4.	Agrupamiento de sujetos por sus comportamientos semejantes. Análisis cluster	271
4.1	Conclusiones sobre el agrupamiento de los sujetos	277
5.	Análisis de Correspondencias Múltiples	278
5.1	Análisis de Correspondencias Múltiples con todas las variables de la entrevista como principales	279
5.2	Análisis de Correspondencias Múltiples con las variables más significativas del estudio	282
5.3	Análisis de Correspondencias suplementando las variables menos significativas	292

5.4	Construcción de las categorías estructurales	295
5.5	Conclusiones del Análisis de Correspondencias Múltiples	296

Capítulo 6

ANÁLISIS CUALITATIVO DE DATOS Y CONCLUSIONES

1.	Análisis evolutivo de las variables más significativas	299
1.1	Evolución de las capacidades de construcción de modelos concretos de moléculas a partir de las fórmulas moleculares (Variable MOLECU)	301
1.2	Evolución de las formas explicativas referidas a la causa del enlace químico (Variable ENLA_1)	305
1.3	Evolución de las formas explicativas referidas al proceso del enlace químico (Variable ENLA_2)	307
1.4	Evolución de las formas explicativas referidas a la indagación de los tipos de enlace químico (Variable ENLA_3)	310
1.5	Evolución de las capacidades para interpretar y relacionar símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo, para determinados elementos químicos (Variable MODELE)	313
1.6	Evolución de las capacidades para deducir la configuración electrónica de diferentes elementos cuando ganan o pierden electrones a partir de representaciones atómicas (Variable IONES1)	316
1.7	Evolución de las explicaciones de los estudiantes acerca de la causa del enlace químico luego de haber aprendido el modelo atómico electrónico (Variable CAUSA)	319
1.8	Evolución de las capacidades para explicar el enlace químico en diferentes casos y analizar las relaciones entre los diferentes modelos representacionales: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas. (Variable MODE_2)	323
2.	Análisis evolutivo de las variables no significativas	327
2.1	Evolución de la utilidad relativa de los modelos concretos de bolas y varillas frente a las fórmulas químicas (Variable REAC_1)	327
2.2	Evolución de las interpretaciones de una reacción química mediante construcciones moleculares de bolas y varillas (Variable REAC_2)	329
2.3	Evolución de las interpretaciones de una reacción química mediante construcciones moleculares de bolas y varillas_2 (Variable REAC_3)	332

2.4	Evolución de las variables AIRE_A y AIRE_B	334
2.5	Evolución de las variables AGUA_A y AGUA_B	340
2.6	Evolución de la variable MACROM	347
2.7	Evolución de las variables ACIE_A y ACIE_D	350
3.	Caracterización del comportamiento de los grupos de estudiantes	353
3.1	Grupo bajo	353
3.2	Grupo medio bajo	356
3.3	Grupo medio alto	358
3.4	Grupo alto	361
3.5	Conclusiones del comportamiento cognitivo de los grupos de estudiantes	362
4.	Descripción de los niveles explicativos sobre enlace químico	366
5.	Contraste de hipótesis y resultados	370
6.	Conclusiones y recomendaciones didácticas	382
	Referencias Bibliográficas	389

ANEXOS

Anexo 1	Cuestionario	403
Anexo 2	Un ejemplo de entrevista literal (1ª transcripción)	413
Anexo 3	Un ejemplo de 2ª transcripción de entrevista	425
Anexo 4	Módulos categoriales	433
Anexo 5	Categorías estructurales	477

TABLAS

Tabla 1	Tabla de afinidades realizada por Etienne François Geoffroy.	38
Tabla 2	Relación aproximada de los distintos modelos de materia y sus dominios de validez.	53
Tabla 3	Niveles de organización cognitiva. Tomado de Benarroch (2005).	70
Tabla 4	Relación entre modelos atómicos, sus dominios de validez, tipos de representaciones concretas, y ejemplos extraídos de libros de texto (Matus, Benarroch y Nappa, enviado para publicar).	105
Tabla 5	Escala de iconicidad de Abraham Moles. Tomado de Iradi (2004).	123
Tabla 6	Variables características que intervienen en el análisis estructural de un mensaje icónico. Tomado de Santos Guerra (1984, citado en Pro, 2003).	124
Tabla 7	Categorías de análisis que constituyen la taxonomía y descripción de las mismas. Tomada de Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004).	131
Tabla 8	Grados de iconicidad, niveles y lenguaje implicados en las representaciones moleculares.	137
Tabla 9	Resultados conjuntos de las categorías analizadas.	151
Tabla 10	Nº de imágenes en la categoría de la función de la secuencia didáctica en los libros de texto de 12 años.	152
Tabla 11	Nº de imágenes en la categoría del grado de iconicidad en los libros de texto de 12 años.	152
Tabla 12	Nº de imágenes en la categoría de la relación con el texto principal en los libros de texto de 12 años.	152
Tabla 13	Nº de imágenes en la categoría de la etiqueta verbal en los libros de texto de 12 años.	152
Tabla 14	Resultados conjuntos de las categorías analizadas en los libros de texto de 15 años.	175
Tabla 15	Nº de imágenes en la categoría de la función de la secuencia didáctica en los libros de texto de 15 años.	176
Tabla 16	Nº de imágenes en la categoría del grado de iconicidad en los libros de texto de 15 años.	176
Tabla 17	Cantidad de imágenes en la categoría de la relación con el texto principal en los libros de texto de 15 años.	176

Tabla 18	Cantidad de imágenes en la subcategoría de la etiqueta verbal en los libros de texto de 15 años.	176
Tabla 19	Resultados conjuntos de las categorías analizadas en libros de texto universitarios.	210
Tabla 20	Nº de imágenes en la categoría de la función de la secuencia didáctica en libros de texto universitarios.	210
Tabla 21	Nº de imágenes en la categoría del grado de iconicidad en libros de texto universitarios.	211
Tabla 22	Nº de imágenes en la categoría de la relación con el texto principal en libros de texto universitarios.	211
Tabla 23	Nº de imágenes en la categoría de la etiqueta verbal en libros de texto universitarios.	211
Tabla 24	Comparación del grado de iconicidad, modelo, nivel y lenguaje de las imágenes en libros de secundaria y universidad.	214
Tabla 25	Correspondencia de niveles educativos entre Argentina y España (notar que en España hay un año más de educación obligatoria).	234
Tabla 26	Características de la Muestra.	236
Tabla 27	Posiciones y puntuaciones de los sujetos en las diferentes variables.	259
Tabla 28	Matriz de correlaciones entre variables.	265
Tabla 29	Análisis factorial: Varianza total explicada.	267
Tabla 30	Matriz de componentes principales.	268
Tabla 31	Análisis factorial realizado con las variables que mejor correlacionan.	269
Tabla 32	Análisis factorial realizado con las variables que mejor correlacionan.	270
Tabla 33	Análisis del número de conglomerados óptimo para nuestro estudio.	272
Tabla 34	Número de casos en cada conglomerado.	273
Tabla 35	Centros de los conglomerados finales.	274
Tabla 36	Identificación de los alumnos en cada grupo y las distancias de sus coordenadas respecto a las del cluster.	275
Tabla 37	Agrupamiento de los estudiantes.	278
Tabla 38	Resumen del modelo.	280

Tabla 39	Medidas de discriminación.	281
Tabla 40	Resumen del modelo del ACM con las variables más significativas.	282
Tabla 41	Peso de cada variable en las dos dimensiones del ACM.	283
Tabla 42	Reconversión de las categorías empíricas en categorías estructurales.	296
Tabla 43	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable MOLECU, según sus niveles explicativos.	302
Tabla 44	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable ENLA_1, según sus niveles explicativos.	305
Tabla 45	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable ENLA_2, según sus niveles explicativos.	308
Tabla 46	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable ENLA_3, según sus niveles explicativos.	311
Tabla 47	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable MODELE, según sus niveles explicativos.	314
Tabla 48	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable IONES1, según sus niveles explicativos.	318
Tabla 49	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable CAUSA, según sus niveles explicativos.	320
Tabla 50	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable MODE_2, según sus niveles explicativos.	324
Tabla 51	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable REAC_1, según sus niveles explicativos.	329
Tabla 52	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable REAC_2, según sus niveles explicativos.	330
Tabla 53	Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable REAC_3, según sus niveles explicativos.	332
Tabla 54	Diferencias entre medias de AIRE_A y AIRE_B.	334
Tabla 55	Prueba de muestras relacionadas para las variables AIRE_A y AIRE_B.	335
Tabla 56	Distribución de los estudiantes en las categorías empíricas de las variables AIRE_A y AIRE_B, según sus niveles explicativos.	336
Tabla 57	Diferencias entre medias de AGUA_A y AGUA_B.	340

Tabla 58	Prueba de muestras relacionadas para las variables AGUA_A y AGUA_B.	341
Tabla 59	Distribución de los estudiantes en las categorías empíricas de las variables AGUA_A y AGUA_B, según sus niveles explicativos.	343
Tabla 60	Distribución de los estudiantes en las categorías empíricas de la variable MACROM.	349
Tabla 61	Diferencias de las medias entre ACIE_A y ACIE_B.	350
Tabla 62	Prueba de muestras relacionadas para las variables ACIE_A y ACIE_D.	351
Tabla 63	Números de aciertos antes y después de la entrevista, diferencia entre ambos valores, edad y nivel explicativo de los alumnos.	352
Tabla 64	Principales aspectos del comportamiento de los grupos.	366
Tabla 65	Correlaciones entre las variables no significativas y los esquemas explicativos con las variables del sujeto (edad y nivel educativo).	371

FIGURAS

Figura 1	Relación aproximada de los distintos modelos de materia y sus dominios de validez. Tomado de Benarroch Benarroch (2007).	52
Figura 2	Ejemplo de una representación que, según el modelo en el que se inserte, adquiere significados diferentes.	56
Figura 3	Ejemplo de dos representaciones diferentes que, al estar insertadas en modelos diferentes, simbolizan una misma realidad.	57
Figura 4	Representación esquemática de la estructura de los sistemas verbal y no verbal. Tomado de Clark y Paivio (2005).	90
Figura 5	Representaciones de enlaces químicos encontrados por Harrison y Treagust (1996).	100
Figura 6	Modelos o imágenes de enlace químico presentes en los libros de texto de secundaria. Tomado de Matus Leites (2006).	102
Figura 7	Pertenencia de cada alumno al grupo correspondiente según la técnica de K-medias.	276
Figura 8	Distribución de los alumnos según su rendimiento acumulado en la entrevista y según su edad.	277
Figura 9	Diagrama de puntos de categorías para las variables CAUSA, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, IONES1, MODE_2, MODELE, MOLECU Y RAE_2.	284
Figura 10	Diagrama de puntos de categorías para las variables MOLECU, EDAD y RAE_2.	285

Figura 11	Diagrama de puntos de categorías para las variables ENLA_1, EDAD y RAE_2.	286
Figura 12	Diagrama de puntos de categorías para las variables ENLA_2, EDAD y RAE_2.	287
Figura 13	Diagrama de puntos de categorías para las variables ENLA_3, EDAD y RAE_2.	288
Figura 14	Diagrama de puntos de categorías para las variables IONES1, EDAD y RAE_2.	289
Figura 15	Diagrama de puntos de categorías para las variables, EDAD y RAE_2.	290
Figura 16	Diagrama de puntos de categorías para las variables CAUSA, EDAD y RAE_2.	291
Figura 17	Diagrama de puntos de categorías para las variables MODELE, EDAD y RAE_2.	292
Figura 18	Diagrama de puntos de categorías para las variables REAC_1, EDAD y RAE_2.	293
Figura 19	Diagrama de puntos de categorías para las variables REAC_2, EDAD y RAE_2.	294
Figura 20	Diagrama de puntos de categorías para las variables REAC_3, EDAD y RAE_2.	295
Figura 21	Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.	353
Figura 22	Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.	356
Figura 23	Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.	358
Figura 24	Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.	361

Capítulo 1

PRESENTACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1. INTRODUCCIÓN

La Química es una ciencia altamente simbólica que hace uso de diferentes tipos de modelos e imágenes para representar los fenómenos objeto de estudio. Estos modelos que aporta la ciencia son utilizados en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Química con el propósito de ayudar a interpretar y predecir diferentes fenómenos.

Uno de los conceptos estructurantes de la Química y sobre los que se fundamenta la mayoría de sus contenidos, es el concepto de enlace químico. Se trata de un concepto de elevado grado de abstracción, no perceptible a través de los sentidos, que hace uso de distintos tipos de imágenes o representaciones externas, según sean los aspectos del fenómeno que se trata de explicar. Todo ello dificulta su enseñanza y aprendizaje que, paralelamente a la actividad científica, se fundamenta en esta pluralidad de imágenes o representaciones externas importadas de la misma Química.

De hecho, estas intervenciones didácticas parecen no ser del todo efectivas para lograr el aprendizaje y acaban provocando en los alumnos representaciones internas erróneas o forzando aprendizajes memorísticos, fragmentados e incluso,

sin sentido, tal como lo revelan diferentes estudios empíricos (De Posada, 1993, 1999; Kim–Chwee y Treagust, 1999; Madoery y otros, 2003; Matus Leites, 2003; Riboldi y otros, 2004; Furió y otros, 2000, citado en Wu y Shah, 2004; Keig y Rubba, 1993, citado en Wu y Shah, 2004; Valcárcel Pérez y otros, 2005; Alvarado Zamorano, 2005, entre otros). Así mismo, las escasas investigaciones acerca de la funcionalidad pedagógica de las imágenes científicas sobre el enlace químico usadas en la enseñanza, junto a estudios que no resultan ser del todo suficientes para diseñar los procesos de enseñanza en los cuales los estudiantes alcancen los niveles de operatividad en el aprendizaje, han sido los motivos desencadenantes de este trabajo.

De acuerdo a lo anterior, consideramos necesario y proyectamos una investigación integral, en la que, por un lado, se describen y analizan las imágenes o representaciones externas que se emplean para la enseñanza de los enlaces químicos en los libros de texto, y por otro lado, trate de obtener las formas de razonar y de aprender sucesivamente más sofisticadas de los estudiantes sobre los enlaces químicos, a las que llamaremos progresiones del aprendizaje (Smith, Wisner, Anderson y Krajcik, 2009), todo ello proyectado para distintas edades, a saber, 12, 15 y 18 años. De esta manera, nuestro estudio nos permitiría obtener información del grado de coherencia que existe entre los niveles conceptuales implicados en la enseñanza de este contenido y las formas de razonamiento de los estudiantes, apuntando direcciones correctoras en caso necesario.

Por tanto, con este trabajo, se intenta aportar al ámbito de la Didáctica de las Ciencias, herramientas útiles y eficaces para el diseño del currículum tanto a gran escala como para mejorar las intervenciones educativas de los profesores en sus aulas, en relación al enlace químico, ya que proporciona una información sobre la construcción del conocimiento del estudiante en esta área científica.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante más de 25 años, la prolifera línea de investigación sobre concepciones alternativas de los alumnos ha permitido a profesores e investigadores del área tener un catálogo del conocimiento de los alumnos en muy diferentes tópicos de ciencias. Una de las características más destacadas de dichas concepciones es la de la persistencia (también llamada estabilidad para algunos autores), entendida

ésta como la existencia prácticamente inalterada de las concepciones a lo largo de los años y a pesar de la instrucción escolar.

Sin embargo, casi de modo simultáneo, otras investigaciones, quizás menos conocidas en principio que las anteriores en el mundo anglosajón, se han interesado por conocer la progresión del conocimiento de los alumnos en áreas o dominios específicos. Desde esta perspectiva, el aprendizaje se define como el cambio en los sistemas de ideas de los sujetos; como un proceso, abierto e irreversible, de reorganización continua, proceso en el que lo nuevo se elabora a partir de lo viejo, bien mediante pequeños ajustes de dichos sistemas de ideas (asimilación, reestructuración débil), bien mediante ajustes más amplios (acomodación, reestructuración fuerte). Este principio evolutivo supone considerar que, para un determinado contenido, son posibles diferentes niveles de formulación (García, 1999) o niveles explicativos (Marín, 1994; Benarroch, 1998).

Las implicaciones didácticas asociadas a sendos enfoques muestran diferencias importantes entre sí. En caso de considerar concepciones alternativas persistentes, la cuestión básica a resolver es cómo conseguir que éstas sean sustituidas por las concepciones científicas (o mejor, por las escolares, determinadas éstas por los intereses sociales) mediante el cambio conceptual, el conflicto cognitivo o la evolución conceptual. En el segundo caso, los sucesivos niveles de formulación conforman la hipótesis de progresión para la construcción del conocimiento del estudiante, guiando por tanto, la organización y secuenciación de los contenidos escolares.

Recientemente el enfoque de la progresión ha alcanzado también al mundo anglosajón y así vemos que los estándares nacionales en Estados Unidos (NAGB, 2006) y Nueva Zelanda (Ministry of Education, 2004) están basados en investigaciones sobre “progresiones en el aprendizaje”. El número 14 (1&2), del 2006, del *Journal Measurement: Interdisciplinary Research & Perspectives*, está dedicado a los “Learning Progressions” y, desde entonces, numerosas investigaciones se han publicado en las revistas más prestigiosas dedicadas a la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

El apogeo de las investigaciones sobre progresiones en el aprendizaje está asociado al reconocimiento de la utilidad práctica de este enfoque frente a los que

estaban basados en la estabilidad o persistencia del conocimiento. Esta utilidad práctica se extiende tanto a la elaboración de los diseños curriculares estatales como a los diseños y desarrollos de intervenciones educativas de los profesores en sus aulas. Se entiende que estos diseños serán más eficaces si están fundamentados sobre las formas sucesivamente más sofisticadas de razonamiento de los estudiantes en un dominio específico.

Reconocida la importancia de este tipo de estudios sobre hipótesis de progresión, el problema se centra en encontrar la metodología más adecuada para encontrar los sucesivos niveles explicativos de los estudiantes relacionados con la temática del enlace químico. En este sentido, esta investigación es deudora de la metodología ya aplicada en investigaciones previas sobre construcción del conocimiento de los estudiantes (Marín, Jiménez y Benarroch, 2004; Jiménez, Benarroch y Marín, 2006), en la que se considera que el conocimiento del estudiante no es directamente alcanzable y que sólo se puede llegar a él mediante un proceso de aproximaciones sucesivas. Veremos que este proceso implica la realización de entrevistas clínicas en profundidad a estudiantes de edades diversas.

Asimismo, en esta investigación también se pretende indagar en la coherencia que la “progresión en la enseñanza”, reflejada a través de los libros de texto, tiene con la “progresión en el aprendizaje de los estudiantes”, siempre refiriéndonos al enlace químico. Esto ha llevado a realizar un exhaustivo estudio de las imágenes o representaciones utilizadas en los libros de texto, presumiendo su vinculación a los modelos conceptuales que los autores preconizan.

Los libros de texto de ciencias con sus imágenes constituyen un material tan utilizado que a veces se convierte en prácticamente el único referente del saber científico en el aula. Por lo tanto, es importante saber analizarlos y conocer el grado de adecuación que ellos poseen. Sin embargo, hay gran carencia de estudios al respecto, lo que, entre otras causas, ha motivado que el uso de las imágenes y el impacto de la cultura visual en la educación sean objeto reciente de investigación tanto en el ámbito de la enseñanza de las ciencias, como en otros campos (Greca y Moreira, 1998; Otero y Greca, 2004; Otero y otros, 2003; Perales Palacios, 2006).

Precisamente la propagación del uso de la imagen en los libros de texto científicos y los escasos estudios acerca de su utilidad pedagógica, junto a las dificultades que

muestran los estudiantes en el aprendizaje de los enlaces químicos (uno de los que más requiere de la imagen gráfica), han sido los motivos desencadenantes de esta investigación. Inicialmente, nos planteamos si existiría alguna relación entre las imágenes usadas en la enseñanza de los enlaces químicos y las múltiples dificultades que muestran los estudiantes en el aprendizaje de este contenido. Finalmente, nos preocupa cómo se relacionan las representaciones mentales que los alumnos construyen en su aprendizaje del enlace químico con las imágenes que se usan en su enseñanza; o, dicho de otro modo, la coherencia entre “progresión en el aprendizaje” y “progresión en la enseñanza”. Es nuestro objetivo último llegar a dar pautas en este sentido para optimizar los diseños curriculares de este contenido.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La Química es la ciencia que estudia la materia, sus propiedades, su composición cualitativa y cuantitativa, los cambios que experimenta, así como las variaciones energéticas que acompañan las transformaciones. La Química está presente en nuestra vida diaria y con su estudio intentamos que los alumnos lleguen a comprender algunas de las características del mundo que nos rodea y tener una actitud reflexiva respecto de ciertos acontecimientos que ocurren en nuestro entorno cotidiano relacionados con la Química. De esta manera, podremos, entre otras cosas, ejercer nuestra participación ciudadana en temas que interesen a la comunidad.

Sin embargo, aprender Química no resulta sencillo, tal como lo muestran las diversas investigaciones educativas y nuestra experiencia como profesores, pues implica trabajar en un plano fenomenológico, observacional y descriptivo que ha de ser explicado mediante la utilización de representaciones sobre entidades no visibles. Así cuando hablamos de elemento o de transferencia de electrones, por ejemplo, no tenemos una forma inmediata de percibir estas ideas. Conceptos tales como electrón, enlace químico, moléculas, entre otros, están más allá de nuestros sentidos y los estudiantes no tienen experiencia previa que les facilite dar un significado preciso a estos conceptos. Al respecto, Pozo y Gómez Crespo (1998) consideran que el aprendizaje de esta ciencia, implica enfrentarse a conceptos nuevos y abstractos, establecer conexiones entre ellos y entre los fenómenos estudiados y, por si fuera poco, enfrentarse a la necesidad de utilizar un lenguaje

altamente simbólico junto a modelos de representación analógicos que ayuden a la representación de lo no observable.

Entre los contenidos de la Química, el *enlace químico* constituye un concepto fundamental para comprender diversos fenómenos y procesos físicos, químicos y biológicos. Tal es así que diversos autores se refieren a este contenido como:

- “El concepto de enlace químico es el concepto más valioso de la Química...” (Pauling, 1992, citado en Alvarado Zamorano, 2005).
- “Concepto estructurante de la Química.” Así lo catalogan Gagliardi y Giordan (1986, citado en De Posada, 1999).
- “El enlace químico es, indudablemente, uno de los temas fundamentales de la Química: es un argumento propedéutico e imprescindible para la caracterización y la comprensión de esta disciplina.” (Borseese, 1995).
- Gillespie (1997, citado en García Franco y Garriz Ruiz, 2006) se refiere al enlace químico como “una de las seis grandes ideas de la Química.”

Estas consideraciones justifican la potencialidad que este contenido tiene tanto en lo disciplinar como para el estudiante.

- En lo **disciplinar**: para desarrollar y comprender diferentes conceptos de la Química, algunos de ellos: fórmulas químicas, mecanismos de reacción, solubilidad de las sustancias; así mismo para comprender, explicar y predecir el comportamiento de las sustancias, sus propiedades físicas y químicas, sus transformaciones, así como la importancia que esto tiene en la síntesis de nuevos compuestos y su incidencia en la mejora de la calidad de vida. Esto hace que consideremos a los enlaces químicos como un conocimiento básico dentro de la Química.
- Para el **alumno**: para comprender que las distintas representaciones de los enlaces químicos constituyen *modelos* creados por los científicos a partir de teorías o datos experimentales y representan entidades no perceptibles. Los modelos científicos no son permanentes sino que pueden modificarse con la aparición de nuevas teorías. De esta manera, se podría contribuir a romper en los alumnos la imagen ahistórica de la ciencia y que las teorías nacieron completas y acabadas en la mente de los científicos.

En el currículo argentino, las uniones químicas o los enlaces químicos son contenidos que se enseñan desde los comienzos de la educación secundaria del plan actual (12-16 años), con diferentes niveles de profundización, acompañados de una variedad de modelos y representaciones simbólicas. Estas representaciones son igualmente medios importantes para la comprensión de los modelos de enlace químico y además, son, en sí mismas, fines de enseñanza, pues aprenderlos implica formar parte de los lenguajes que los químicos utilizan en sus interpretaciones.

Existen diferentes estudios empíricos concernientes a los conocimientos que los alumnos poseen sobre enlaces químicos (De Posada, 1993, 1999; Kim-Chwee y Treagust, 1999; Madoery y otros, 2003; Matus Leites, 2003; Riboldi y otros, 2004; Furió y otros, 2000, citado en Wu y Shah, 2004; Keig y Rubba, 1993, citado en Wu y Shah, 2004; Valcárcel Pérez y otros, 2005; Alvarado Zamorano, 2005, entre otros) que avalan las dificultades de su aprendizaje, pues revelan que, frecuentemente son incapaces de hacer traslaciones entre fórmulas, configuraciones electrónicas y modelos de bolas y varillas; ponen de manifiesto que los alumnos generalmente, presentan conceptos erróneos, falta de coherencia en las respuestas y una comprensión insuficiente de los contenidos implicados.

Por otra parte, desde el currículum de ciencias se reclama como objetivo de la enseñanza un aprendizaje útil y de alto valor de aplicabilidad para los alumnos; en otras palabras, se pretende que, más allá de que los estudiantes entiendan lo conceptual, lo más importante es que sepan utilizar los conceptos, en un todo de acuerdo con la nueva cultura del aprendizaje en la que estamos inmersos, que nos obliga a estar aprendiendo siempre algo nuevo (Pozo y Gómez Crespo, 1998). De esta manera, el mundo se halla cada vez más estructurado sobre las ciencias y la tecnología y, además, el avance de las mismas, junto a la velocidad de cambios que imponen en todo el andamiaje de la sociedad, plantean un desafío crucial a los sistemas educativos. Al respecto, el Consejo Federal de Cultura y Educación ya incluía entre los objetivos de la Educación General Básica de la Ley Federal de Educación (ley de Educación precedente a la actual) *“la adquisición de una formación humanística, científica y tecnológica adecuada para manejar los códigos y contenidos culturales del mundo actual, para poder operar comprensiva y equilibradamente sobre la realidad material y social, y para mejorar la calidad de vida”*. Así mismo, la actual Ley de Educación Nacional, aprobada por el Congreso de la Nación Argentina y promulgada por el Presidente en diciembre de 2006,

establece que *“la ciencia puede y debe enseñarse de manera que los alumnos y alumnas puedan emplearla en su vida diaria y extenderla en una dimensión social.”* También, entre los objetivos de la Educación Secundaria, la Ley de Educación Nacional plantea *“formar sujetos responsables, que sean capaces de utilizar el conocimiento como herramienta para comprender y transformar constructivamente su entorno social, económico, ambiental y cultural, y de situarse como participantes activos/as en un mundo en permanente cambio.”*

Este aprendizaje operativo plantea mayores exigencias para la enseñanza, pues implica alcanzar niveles muy elevados en la adquisición de los contenidos implicados. Así Marín (1997, citado en Benarroch, 1998), distingue diferentes grados de adquisición del contenido, que van desde la memorización hasta la modificación de los esquemas de conocimientos, pasando por los distintos niveles de comprensión de dicho contenido, a saber:

- La **memorización** es el modo de adquisición más sencillo, supone la capacidad de reproducir o copiar lo adquirido. En este caso, son suficientes las técnicas de subrayado, copiado, las rimas, las palabras clave, abreviaturas, reglas nemotécnicas, que facilitan la repetición, pero no ayudan a entender lo aprendido. Son técnicas que buscan una relación simple entre significados, sin llegar a establecer una estructura (Ontoria y otros, 1999).
- La **comprensión** se produce cuando el sujeto sabe y entiende la información que recibe, es decir que capta y distingue las ideas centrales o básicas, de las ideas secundarias. La comprensión implica la organización de ideas para su asimilación e interiorización mental. Esto supone la relación entre los conceptos importantes, lo cual constituye la creación de estructuras simples o complejas (Ontoria y otros, 1999).
- La **asimilación** de un contenido se produce cuando se integra en algún esquema cognitivo. Estos nuevos esquemas serán utilizados para dirigir las conductas intelectivas del sujeto frente al medio, comprenderlo, explicarlo y actuar sobre él de un modo más adecuado. Es decir que un aprendizaje operativo y útil exige una asimilación del contenido a enseñar (Benarroch, 1998).

Es de destacar que el paso de la comprensión a la asimilación no es fácil, pues además de la comprensión, requiere del sujeto coherencia en el nuevo

conocimiento (que sea inteligible y plausible), apreciar que el nuevo conocimiento responde satisfactoriamente a las demandas que le plantea el entorno (que sea útil) y que el medio le plantee problemas para cuya solución sea necesario o más conveniente utilizar el nuevo conocimiento (que sea fructífero), es decir, los mismos requisitos que los dados desde la Epistemología de la Ciencia (Posner y otros, 1982; Hewson y Thorley, 1989, citados en Benarroch, 1998).

Podemos afirmar con Benarroch (1998), que son los objetivos de la enseñanza los que establecerán en gran medida la información significativa del alumno tanto para el diseño como para el desarrollo de los procesos de enseñanza-aprendizaje. De esta manera, si el objetivo de la enseñanza es lograr que los estudiantes alcancen un aprendizaje operativo, es decir que **apliquen** su conocimiento en situaciones nuevas, la información significativa del alumno debería contemplar tanto el carácter declarativo como procedimental, y además debería ser representativa de las potencialidades cognitivas del alumno. Sin embargo, las investigaciones realizadas no aportan este tipo de información, pues sólo revelan una gran cantidad de información sobre el conocimiento que poseen los alumnos en un momento concreto respecto a una situación física concreta. Estas concepciones obtenidas inductivamente de las respuestas de los alumnos presentan las siguientes limitaciones (Marín, Jiménez y Benarroch, 1997):

- Son **declarativas**, esto es, contienen lo que se piensa sobre el contenido y no los mecanismos por los que se alcanza dicho conocimiento.
- Son **estáticas**, es decir, no informan sobre el grado de estabilidad de la concepción ante nuevas situaciones.
- Son **limitadas**, es decir, no nos informan del grado de relación de la idea con los elementos cognitivos del alumno.

Estas limitaciones hacen que el conocimiento declarativo de los estudiantes, resulte insuficiente y de escaso valor aplicativo para diseñar los procesos de enseñanza que alcancen los niveles de operatividad en el aprendizaje (Pozo y otros, 1991; Marín, 1994a, citados en Benarroch, 1998). Es decir que el conocimiento declarativo nos aporta criterios limitados e incluso posiblemente erróneos para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje (Benarroch, 1998). En efecto, un proceso de enseñanza-aprendizaje fundamentado en esta clase de concepciones, podría a lo sumo, considerarse en los comienzos del mismo, pero según sostiene Benarroch (1998) carecería de argumentos, por ejemplo, para:

- Determinar cuáles son los factores problemáticos sobre los que habría que incidir durante el proceso.
- Seleccionar las tareas físicas que se proponen durante el acto didáctico. En concreto, se desconoce el grado de alejamiento cualitativo y cuantitativo que éstas debieran presentar frente a la que se consideró en la detección de las concepciones.
- Secuenciar los contenidos adecuados a la capacidad de asimilación de las distintas edades.

Por el contrario, el conocimiento procedimental, parece ser más indicativo de la verdadera cognición, pues procede de la automatización del conocimiento declarativo, gracias a la repetición y a la experiencia (Anderson, 1982, citado en Benarroch, 1998).

Al respecto, Marín (1995, citado en Benarroch, 1998) propone que la información significativa del alumno debería estar constituida por:

- *“Una información específica relativa al esquema cognitivo utilizado para asimilar un determinado contenido concreto, y*
- *una información de índole general, relacionada con los mecanismos que se ponen en juego en el mismo proceso de asimilación. Esta última información debe estar ligada al **nivel cognitivo del alumno**, pues dicho nivel se caracteriza por las capacidades y limitaciones del proceso asimilador de la estructura cognitiva.”*

Tanto la información específica, en nuestro caso referida a los enlaces químicos, como la general, referida a los esquemas de razonamiento y que permiten transformar los datos y procesarlos, se encuentran en un plano no observable, representado por el modelo cognitivo que tiene cada sujeto. En este plano se producen los cambios o reestructuraciones fuertes en el aprendizaje y es claramente de difícil acceso para el investigador.

No obstante, existe un plano observacional, exterior al sujeto, que es donde se obtienen las respuestas de los estudiantes. En este sentido, distinguimos entre **respuestas** del estudiante, **explicaciones** del estudiante, **esquemas explicativos** y **niveles explicativos**.

Las explicaciones son respuestas significativas, es decir, aquellas donde se introducen datos cualitativamente nuevos en relación con los iniciales o bien aquellas donde se ofrecen vínculos nuevos entre los datos iniciales. Por otro lado, los esquemas explicativos suponen otro grado mucho mayor de generalidad, pues serían las explicaciones de los sujetos que contemplan las siguientes regularidades (Marín, 1994a, citado en Benarroch, 1998):

- a) **Repetición**, es decir, que la explicación no varía ante las variaciones cuantitativas (adiciones o sustracciones) de las variables que intervienen en la tarea.
- b) **Generalización**, esto es, que la explicación no varía ante las variaciones cualitativas de las variables intervinientes en la tarea. Esto es equivalente a decir que, ante situaciones distintas a las utilizadas para generar el esquema, aun siendo científicamente equivalentes, éste resulta útil para realizar previsiones.
- c) **Diferenciación**, que supone la adaptación del esquema ante nuevas situaciones por el reconocimiento de las semejanzas y diferencias de las variables puestas en juego en estas situaciones frente a las involucradas en la tarea utilizada para generar el esquema.

Así por ejemplo, un esquema usado por un alumno para la tarea de la unión entre el sodio y el cloro, será explicativo siempre que:

- Sea utilizado igualmente aun cuando se trate de otro metal alcalino y otro no metal halógeno (repetición).
- Sea utilizado ante nuevos enlaces entre metales y no metales (generalización).
- Sea diferenciado o modificado adecuadamente para acomodarse a las peculiaridades de las nuevas situaciones citadas, explicando sus semejanzas y sus diferencias respecto a las del enlace entre el sodio y el cloro (diferenciación).

Finalmente, de acuerdo a las respuestas de los alumnos y los esquemas explicativos elaborados a partir de las mismas, se pueden establecer diferentes niveles explicativos, que es lo que pretendemos llegar a determinar como consecuencia de encontrar entre las respuestas de los alumnos las regularidades de repetición, generalización y diferenciación. Consideramos que los niveles

explicativos nos aportan información útil y relevante de los grupos de alumnos de 12, 15 y 18 años, no sólo estática, sino también dinámica, esto es, relacionada con sus potencialidades cognoscitivas. De ser así, en el área del enlace químico estaremos brindando, al ámbito de la Didáctica de las Ciencias, herramientas útiles y eficaces para adecuar la enseñanza a la construcción cognitiva del alumno.

4. OBJETIVOS GENERALES

Desde una perspectiva constructivista, el aprendizaje se define como un proceso abierto, de reorganización continua de las estructuras conceptuales. Este principio evolutivo supone considerar que, para un determinado contenido, son posibles diferentes niveles explicativos. Concretamente, esperamos que el conocimiento de los niveles explicativos sobre enlace químico, nos aporte las herramientas necesarias para el mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje de este contenido en los distintos niveles de escolaridad. Para ello, realizaremos un estudio integral que incluirá tanto el análisis de las imágenes y modelos usados en la enseñanza, como el estudio de las respuestas y explicaciones que los alumnos construyen cuando se enfrentan al aprendizaje de dichas imágenes y representaciones de enlaces químicos. En definitiva, se trata de estudiar la optimización de la relación entre las imágenes externas usadas en la enseñanza y la información específica que los estudiantes construyen en el aprendizaje de este contenido.

Por lo tanto, concretamente, en esta investigación trataremos de:

1. Realizar un estudio exhaustivo de las imágenes de enlace químico incluidas en los libros de texto utilizados al comienzo y al final de la educación secundaria obligatoria, así como de los universitarios.
2. Elaborar un instrumento válido y fiable para identificar los distintos tipos de explicaciones que manifiestan los estudiantes en relación con el enlace químico.
3. Analizar desde una perspectiva cognitiva los juicios emitidos por los estudiantes en relación al enlace químico.
4. Determinar los niveles explicativos y sus características.
5. Dilucidar la relación entre los niveles explicativos y las imágenes externas usadas en la enseñanza.

6. Extraer implicaciones para la enseñanza del enlace químico.

5. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Esta investigación ha sido organizada en seis capítulos:

En el presente capítulo 1, se presenta la introducción a nuestro trabajo, el planteamiento y justificación del problema, como así también los objetivos generales que pretendemos alcanzar.

En el capítulo 2, se aborda la fundamentación teórica, desde los aportes de tres perspectivas: la epistemología e historia de los modelos de materia, la psicología del aprendizaje y la didáctica de las ciencias.

En el capítulo 3, se describe el análisis de las imágenes sobre enlace químico en libros de texto (de educación secundaria y universidad) contemplando fundamentalmente los aspectos semánticos de las imágenes.

En el capítulo 4, se explicita la metodología de la investigación. Esto implica, esclarecer los presupuestos metodológicos, la formulación de las hipótesis, la selección de la muestra, el diseño de tareas que conforman el cuestionario de la entrevista, su realización de las mismas y el proceso de categorización de los datos obtenidos.

En el capítulo 5, se realiza el análisis e interpretación cuantitativa de los datos obtenidos.

Por último, en el capítulo 6, se efectúa el correspondiente análisis e interpretación cualitativa de los datos obtenidos, se establecen las conclusiones y las implicaciones didácticas.

Capítulo 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1. APORTACIONES TEÓRICAS DE LA EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LOS MODELOS DE MATERIA

1.1. Aportaciones teóricas de la Historia de los Modelos de Materia

A) INTRODUCCIÓN

La enseñanza habitual de la ciencia pone en evidencia una imagen ahistórica de la misma y da la imagen de que las teorías nacieran completas y acabadas en la mente de los científicos. La ciencia que se enseña no contiene problemas, sino únicamente soluciones, con lo cual el contenido de la misma se presenta como arbitrario, sin que el alumno consiga establecer relaciones. Estas ideas se transmiten implícitamente a los estudiantes y provoca, entre otras cosas, desinterés hacia el aprendizaje de la Química, y la idea de que la ciencia es accesible a un reducido número de genios, en la mayoría de los casos, hombres.

Si se quiere cambiar esta imagen de la ciencia, se debe recurrir a la historia, la cual aporta una comprensión más profunda de los conceptos y teorías al contemplar en su proceso de producción en función de qué demandas y como respuestas a qué

preguntas fueron formulados. Así dejan de aparecer como arbitrarios. El enfoque histórico permite poner de manifiesto la dimensión humana de la ciencia, mostrando que detrás de ella están los hombres que la hicieron. Del mismo modo, cabe resaltar que la ciencia es un proceso de construcción del saber con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales. No puede haber ni conocimiento ahistórico, ni conocimiento realizado por un hombre de ciencia aislado. El saber científico es producto del saber humano (Fernández González, 2000).

La reflexión sobre la ciencia, la actividad de los científicos y sus modos de producción o los cambios que a lo largo de la historia experimentan las teorías no es un tipo de actividad a la que se le dedique demasiada atención en las clases de ciencias. Es por ello que la visión dogmática de la ciencia que poseen muchos de nuestros estudiantes no es casual. Tanto en los libros de texto como en la forma en que enseñamos ciencias subyace con frecuencia, dicha visión.

Sin embargo conocer la historia de la ciencia resulta básica para conocer la estructura de la disciplina y también como recurso didáctico en el aula: ¿hay mejor forma de valorar lo que son y significan las teorías que analizar algunas controversias históricas o reflexionar sobre la potencialidad explicativa que ofrecen diversas teorías que afectan a un mismo campo del saber? ¿hay mejor forma de evitar una visión dogmática y acabada de la ciencia que analizar cómo van sustituyéndose una teorías a otras, y como las teorías son potenciales? (Pedrinacci, 1996).

La utilización de la historia de la ciencia como recurso didáctico se puede justificar por varias razones. Por un lado permite ubicar a los estudiantes en las situaciones problemáticas en que se vieron inmersos en su momento los hombres de ciencia, pues sabemos que toda teoría científica surge como respuesta a un problema, entonces conocer los problemas para los cuales se propusieron teorías para solucionarlos, conocer cómo superaron las dificultades, y cómo se fueron sucediendo los diferentes acontecimientos, ayudaría a los estudiantes a comprender mejor esos problemas y cómo se va construyendo y desarrollando el conocimiento científico. Otra razón, consecuencia de la anterior, sería el contribuir a que el estudio de las asignaturas de ciencias resulte más atractivo y ameno. Es decir, ésta sería una vertiente motivadora de la historia de la ciencia en el aula que permitiría a los estudiantes tener una nueva imagen de ciencia y de los científicos más próxima a la realidad y se favorecería el interés de los estudiantes por las

ciencias de manera que las integre como parte inseparable del saber humano de carácter general (Esteban Santos, 2003; Solbes y Traver, 2001).

Además de lo señalado, habría que indicar otra razón y es que, la historia de la ciencia proporciona variadas situaciones que ilustran las relaciones ciencia, tecnología y sociedad. Según Esteban Santos (2003) trabajando con estas situaciones se atenderá no sólo al aprendizaje de los contenidos científicos correspondientes, sino al de los aspectos tecnológicos y sociales implicados en ellos. Se propiciará la percepción de una ciencia no separada en compartimientos estancos, sino de una ciencia unitaria, un todo global que, estaría en continua evolución, interaccionando de forma multidireccional con otros factores y saberes. Es decir, se propiciaría la imagen de una ciencia no dogmática, cuyo carácter interdisciplinar quedaría resaltado. Asimismo, se promovería la reflexión hacia los problemas sociales.

Pero, por si fuera poco, hay una razón adicional por la que el conocimiento de la historia de la ciencia resulta útil para el profesor-investigador de ciencias. Sin apostar por un paralelismo fiel entre la filogénesis y la ontogénesis, muchos autores han utilizado la primera para abordar la difícil tarea de indagar en el conocimiento del estudiante y de cómo éste construye el conocimiento científico. Evidentemente, los resultados de estas investigaciones son las que marcarán las pautas para la enseñanza, pero la construcción histórica de las nociones nos puede ayudar a elaborar el primer borrador de encuesta y las primeras hipótesis necesarias para indagar en la compleja mente del niño.

En síntesis, siguiendo las anteriores argumentaciones, los aspectos en los que la historia de la ciencia puede ayudar a enseñar mejor la ciencia se pueden concretar en:

- a) Por el carácter formativo de los recursos históricos que, bien utilizados, pueden favorecer objetivos metacientíficos capaces de transmitir una imagen de la ciencia más acorde con las visiones actuales de la misma.
- b) Para realizar una mejor secuenciación de contenidos en el aula, usando para ello experiencias, ideas o conceptos claves que permitieron un desarrollo científico en otras épocas o momentos históricos.

- c) Como medio para favorecer interdisciplinidades muy diversas con las ciencias sociales y tecnológicas, permitiendo transmitir una imagen más humana de las ciencias experimentales.
- d) Para abordar las investigaciones sobre el conocimiento del alumno, que a veces tiene rasgos que nos recuerdan a los mantenidos por los científicos en otros momentos históricos.

Entroncando con esta última perspectiva, procederemos a continuación a realizar una breve incursión en el desarrollo histórico de los modelos usados para interpretar el enlace químico.

B) UNA MIRADA A LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL ENLACE QUÍMICO

La revolución científica del siglo XVII lleva al abandono definitivo de las teorías aristotélicas y, sobre todo al desarrollo de filosofías corpusculares. En el ámbito de la Química, este siglo marca el inicio de la introducción de la balanza para estudiar las transformaciones químicas y se produce un cambio en el centro de interés del tipo de sustancias objeto de estudio desde los minerales y metales hacia los vapores o espíritus. La actividad en este siglo está pautada por la reestructuración hacia el estudio de los gases y el enfoque experimental ausente de conjeturas y falsas expectativas (Delgado Castillo, 2000).

También cabe destacar que el propio Descartes hace renacer la atomística antigua formulando una elaborada filosofía mecánico-corpuscular. De manera hipotética Descartes plantea la singular idea de que las propiedades de las sustancias dependían de la forma que adoptaban sus partículas constituyentes. Así el agua debía presentar corpúsculos elementales partículas largas, lisas y resbaladizas; partículas puntiagudas debían formar las sales; pesadas y redondas debían ser las partículas de mercurio. Puede considerarse a Descartes el iniciador de la Estereoquímica o Química Espacial, pero sus ideas no podrían tener un posterior desarrollo en esta época. Debía antes desarrollarse la Mecánica de Newton, para que Dalton, a inicios del XIX, pudiera atribuir a la masa, la propiedad fundamental de los átomos (Delgado Castillo, 2000).

El primero en aplicar los planteamientos corpusculares a la Química fue el médico Daniel Sennert (1572-1637) quien en una de sus obras, *Anotaciones de Física* expone su concepción atomista de la Química. Para Sennert las sustancias sujetas a corrupción y generación, es decir lo que actualmente denominamos

descomposición y combinación, respectivamente, tenían que estar formadas por cuerpos simples de los que surgirían y a los que volverían al descomponerse (Sánchez y otros, 2003). Estarían pues, constituidas por átomos mínimos simples, los cuales se combinarían entre sí para formar átomos de segundo orden, es decir lo que llamamos moléculas, que son las que constituyen las sustancias que conocemos. Estos átomos, a los que llama elementos, diferirían entre sí según su forma sustancial en el sentido aristotélico, de manera que la forma sustancial de cada tipo de átomo es la que da cuenta de sus propiedades sensibles, es decir de las propiedades de los cuerpos correspondientes. Así, por ejemplo la forma sustancial de los átomos de oro es la responsable de su color amarillo, su resistencia a los ácidos, entre otros.

De acuerdo a lo anterior se puede advertir un marcado sustancialismo (Chastrette y Franco, 1991; Nappa, 2002) en las ideas de Sennert como también en las de Descartes, es decir una concepción que mezcla el sistema macroscópico con el sistema microscópico. Esta concepción sustancialista se refiere a considerar las propiedades de las partículas -átomos y moléculas- iguales a las propiedades de las sustancias.

En cuanto a la mezcla de átomos, Sennert considera que la mezcla de más de un tipo de átomos es lo que da lugar a los cuerpos compuestos, pero los átomos conservarían su forma sustancial en sus combinaciones y la recuperarían cuando éstas se descomponen, conservando su individualidad a través de las reacciones químicas (Sánchez y otros, 2003). Cuando Sennert se refiere a la mezcla de átomos para dar lugar a los cuerpos compuestos, o mejor dicho a las sustancias compuestas, estaría haciendo referencia a la combinación de los mismos, lo que implica reacción química y lo cual difiere conceptualmente de la mezcla que él menciona, pues esta última no lleva asociado el concepto de reacción química.

Uno de los críticos más radicales de Sennert fue Nicolás Lemery (1645-1715), quien también formula una teoría química corpuscular, aunque en este caso, estrictamente mecanicista. Es conveniente aclarar que los historiadores utilizan la categoría de “químico mecanicista” para designar a aquellos que aceptaron atribuir a los átomos sólo propiedades “primarias”, es decir extensión, forma, impenetrabilidad, masa (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Lemery ofrece explicaciones mecanicistas a partir de una teoría atómica derivada de la teoría mecánico-corpuscular de Descartes.

El principio general es que la materia tiene como características fundamentales la extensión y el movimiento y está formada por partículas en contacto, movimiento e interacción mecánica mutua que llenan todo el espacio, de manera que no existe el vacío, y que puede adoptar tres formas fundamentales: materia sutil (partículas muy finas y pequeñas, casi un fluido), materia irregular (partículas con formas diversas) y materia globulosa (partículas esféricas).

Sobre esta base, Lemery construye su teoría atómica, según la cual todas las sustancias están formadas por partículas con las mismas propiedades pero con formas diferentes, según el tipo de sustancia y, los procesos químicos son el resultado de la interacción mecánica entre esas partículas (Sánchez y otros, 2003). La forma específica de las partículas de una sustancia se determina a partir de la experiencia y de su comportamiento experimental. Así, el mercurio es líquido porque está formado por partículas globulosas que se deslizan unas sobre otras. Evidencia de concepción sustancialista.

Robert Boyle (1627-1691) químico irlandés, distingue dos niveles en la estructura de la materia en los cuales sugiere una evidente concepción sustancialista al igual que los científicos anteriores. Uno de estos niveles está integrado por corpúsculos mínimos, es decir lo que consideramos actualmente como átomos, cuyas únicas propiedades son la forma, el tamaño y la dureza, los cuales interactúan entre sí y no pueden observarse aisladamente. Otro superior formado por combinaciones de esos corpúsculos, a las que llama "texturas", que siguen ciertos patrones generales de combinación y serían diferentes para las distintas sustancias (Sánchez y otros, 2003).

Las propiedades químicas y algunas físicas, dependen de la textura, es decir del patrón seguido por los corpúsculos al combinarse, de modo que tendrían una base cuantitativa, pero no serían completamente reducibles a propiedades mecánicas. Así los procesos químicos se explicarían mediante interacciones o cambios de esas texturas; se distinguiría entre una combinación y una mezcla, pues en el primer caso la interacción entre las texturas originales, daría lugar a una nueva y en el segundo no, e incluso permitiría una definición de elemento químico que Boyle caracteriza como: "*ciertos cuerpos primitivos y simples o sin mezcla alguna que, no estando hechos de otros cuerpos ni derivar de otros distintos, son los ingredientes a partir de los cuales se componen todos los cuerpos mixtos y en los que se descomponen en última instancia*" (Sánchez y otros, 2003). Por otra parte, el color,

que los alquimistas consideraban una propiedad química, sería una propiedad física resultante de la interacción de las partículas de luz con la disposición de los corpúsculos en las texturas, es decir que se plantea una teoría bastante similar a la actual que considera el color como la interacción entre materia y energía. En 1622 descubre, al estudiar el comportamiento que experimenta el volumen de los gases con las variaciones de la presión, la ley que llega a nuestros días como ley de Boyle (Delgado Castillo, 2000).

Hasta el momento se puede apreciar que los científicos están interesados en saber cómo está formada la materia, cuál es su estructura, si cambian o no las propiedades físicas y químicas de las partículas que forman las sustancias, pero en todas las teorías se refleja una marcada concepción sustancialista.

Hasta ese momento se consideraba que las sustancias estaban formadas por partículas más pequeñas pero nada se decía -y parecía no ser problema para los científicos- sobre cómo están unidas esas partículas entre sí. En esta época, los científicos estaban más motivados en saber si las propiedades de las partículas que forman las sustancias cambian o no cuando se produce una combinación o descomposición química. Asimismo la idea de enlace químico estaba implícita en las teorías de los científicos de la época, pero habría que esperar hasta el siglo XVIII cuando comienzan a percibirse los primeros intentos de explicar la constitución del enlace químico.

El triunfo definitivo de la filosofía corpuscular vino de la mano de Isaac Newton (1642-1727) con quien se abre paso el paradigma mecánico, mientras al finalizar esta centuria, agoniza la alquimia.

A partir del siglo XVIII se establece una creciente interrelación entre la tecnología y la ciencia; pero si el siglo XVII vio esencialmente la Revolución de la Mecánica, al siglo siguiente atañe el cambio de paradigma en el ámbito de la Química. La Química del siglo XVIII representa un proceso revolucionario al debutar como ciencia experimental asentada en el tratamiento cuantitativo de los resultados. En este siglo quedan experimentalmente establecidas las leyes ponderales de las reacciones químicas y comienzan a vislumbrarse los primeros intentos acerca del enlace químico.

El concepto newtoniano de gravedad se intentó aplicar también a la Química. Se pensó que tal vez los elementos que forman parte de las sustancias están vinculados por alguna fuerza similar a la gravitatoria o quizás por la misma fuerza

de gravedad. Sin embargo, por no prejuizar el tipo de fuerza, o por preservar la identidad de la Química frente a la Física, se denominó *afinidad* -y no atracción- a la tendencia a la reunión de ciertos principios elementales en forma de sustancias compuestas. La noción de afinidad se usó para distinguir agregados y mezclas y, por lo tanto, para distinguir entre uniones físicas y químicas.

El concepto newtoniano de atracción universal, se transmitió a los más diversos campos. En la Química tenemos las tablas de relaciones -que no son llamadas todavía afinidades- entre diversas sustancias construidas por Etienne François Geoffroy en 1718.

Diversos autores del siglo XVIII trataron de ordenar en tablas de este estilo la información empírica disponible referente a la "afinidad" química de las diversas sustancias entre sí. La tabla 1, que como hemos dicho, fue realizada por Etienne François Geoffroy, sería presentada en 1718 a la *Académie des Sciences* de París con el texto que se extracta a continuación (Bertomeu, 2000):

↶	⊖	⊙	⊕	▽	⊖	⊕	SM	♁	♂	♂	♀	☾	♂	♂	▽
⊖	♂	♂	♁	⊕	⊕	⊕	⊖	⊖	⊙	☾	♂	♂	♂	♂	♂
⊕	♂	♀	⊖	⊙	⊙	⊙	⊕	♂	☾	♀	PC	♀	♂	♂	⊖
▽	♀	♂	⊕	⊖	⊖	⊖	⊙	♀	♂						
SM	☾	♂	▽		♂		♂	♂	♀						
	♂	☾	♂		♁			☾	♂						
			♀					♂	♂						
			☾					♂							
	⊙							⊙							

- ↶ Esprits acides.
- ⊖ Acide du sel marin.
- ⊙ Acide nitreux.
- ⊕ Acide vitriolique.
- ⊖ Sel alcali fixe.
- ♂ Sel alcali volatil.
- ▽ Terre absorbante.
- SM Substances metalliques.
- ♁ Mercure.
- ♂ Regule d'Antimoine.
- ⊙ Or.
- ☾ Argent.
- ⊙ Cuivre.
- ♂ Fer.
- ♂ Plomb.
- ♂ Etain.
- ♂ Zinc.
- PC Pierre Calaminaire.
- ♂ Soufre mineral. [Principe.
- ♁ Principe huileux ou Soufre
- ♂ Esprit de vinaigre.
- ▽ Eau.
- ⊖ Sel. [dents
- ♂ Esprit de vin et Esprits ar

Tabla 1. Tabla de afinidades realizada por Etienne François Geoffroy.

“Se observa en química ciertas afinidades [rapports] entre diferentes cuerpos, que hacen que se unan fuertemente los unos con los otros. Estas afinidades tienen sus grados y sus leyes. Se observa sus diferentes grados en que, entre diferentes materias confundidas, y que tienen cierta disposición a unirse juntas, se percibe que una de estas sustancias se une siempre constantemente con cierta otra, preferiblemente a todas. En lo que respecta a las leyes de estas afinidades, he observado que, entre las sustancias que tenían esta disposición a unirse juntas, si dos se encuentran unidas y otras se acercan o se mezclan, se unen a una de ellas y hacen que la otra deje de estar unida; y algunas otras también no se unirán ni a la una ni a la otra, ni las separarán de ningún modo. De lo cual, me ha parecido que se podría concluir con bastante verosimilitud, que aquellas que se unen a una de las dos, tenían más afinidad, unión o disposición a unirse con ella, que las otras que la que soltaban su presa tras su acercamiento. Y he creído que se podría deducir de estas observaciones la proposición siguiente, que es muy amplia, aunque no pueda darla como general, no habiendo podido examinar todas combinaciones posibles para asegurarme si se encontrará algo en contra:

Todas las veces que dos sustancias que tienen cierta disposición a juntarse unas con otras, se encuentran unidas conjuntamente, si ocurre que una tercera que tenga más afinidad [rapport] con una de las dos, se unirá dejando libre a la otra.

Esta proposición se halla muy ampliamente difundida en química, donde se la encuentra, por así decirlo, a cada paso de los efectos de esta afinidad [rapport]. De esta propiedad dependen la mayor parte de los movimientos ocultos que siguen a las mezclas de los cuerpos y que serían casi impenetrables sin esta clave. Pero como el orden de estas afinidades es poco conocido, he creído que sería una cosa muy útil el marcar aquellas que las principales materias que se acostumbra a trabajar en química guardan entre ellas y el dibujar una tabla donde de un vistazo se pudiera ver las diferentes afinidades que tienen unas con otras. [...]. La primera línea de esta tabla comprende diferentes sustancias que se emplean en química. Debajo de cada una de estas sustancias se han ordenado por columnas diferentes materias comparadas con la primera en orden de su afinidad [rapport] con esta primera sustancia; de modo que la que se encuentra más próxima es la que tiene más afinidad, o aquella que ninguna de las sustancias que se encuentran debajo podrían separar; pero que las separa a todas, cuando se encuentran unidas y las descarta para unirse a ella. Así, en la primera columna los espíritus ácidos son sustancias a las que he comparado los cuatro géneros siguientes que se encuentran debajo, a saber, las sales álcalis fijas, las sales álcalis volátiles, las tierras absorbentes y las sustancias metálicas.

Las sales álcalis fijas se encuentran dispuestas en la columna inmediatamente debajo de los espíritus ácidos porque no conozco ninguna materia que, uniéndose a los espíritus ácidos, los despegue y los separe una vez que están unidos. Por el contrario, cuando cualquiera de los tres tipos de sustancias que se encuentran debajo, se encuentra unida a los espíritus ácidos, dejan su lugar a las sales álcalis fijas cuando se aproximan, para dejarle la libertad de unirse a los ácidos. En la tercera casilla se encuentran las sales álcalis volátiles que tienen más afinidad con los espíritus ácidos que las sustancias terrosas o metálicas que se encuentran debajo, pero menos que las sales álcalis fijas que se encuentran encima. De modo que, cuando haya alguna de estas dos sustancias juntas a los espíritus ácidos, le harán dejar su presa y

tomarán su lugar, uniendo a estos mismos ácidos. Estas mismas sales álcalis volátiles tienen asimismo menos afinidad con los espíritus ácidos que las sales álcalis fijas, lo que hace que no tengan ninguna acción sobre estas dos sustancias unidas conjuntamente. Al contrario, cuando estas sales álcalis volátiles se encuentran unidas con los espíritus ácidos, los abandonan al encuentro de las sales álcalis fijas, a las que ceden su lugar.

A pesar de que esta tabla contiene un número muy grande de sustancias de las que se estudia sus afinidades, no dudo en absoluto que se pueda añadir todavía muchos otros, de los que se conocerán sus afinidades a fuerza de experiencias. [...] Es necesario señalar que, en muchas de estas experiencias, la separación de las materias no es siempre perfectamente exacta y precisa. Lo que procede de muchas causas que no es posible evitar, como la glutinosidad del líquido, su movimiento, la figura de las partes precipitantes o precipitadas, y otras cosas por el estilo, que no permiten un descenso rápido o una separación exacta de todas las partes; lo que es, no obstante, tan poco importante que no debe evitar considerar a esta regla como constante.

Cada columna de esta tabla está encabezada por un cuerpo, seguido por todos aquellos que son susceptibles de combinarse con él. El orden se determina por lo que Newton había llamado la "atracción" respectiva hacia el cuerpo que aparece primero: un cuerpo "desplaza" en su combinación a todos los que le siguen y él es "desplazado" por todos aquellos que le preceden."

(Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Por su parte, el médico y químico alemán Georg Ernst Stahl (1660-1734) considera que lo propio de la Química es la "unión mixtiva" o "mixtión" -fenómeno químico-, que debe distinguirse de la agregación. La agregación es sólo una unión mecánica -fenómeno físico-. Tanto si se comprende en términos de corpúsculos entrelazados, como de atracción newtoniana, remite a las propiedades generales de las masas y de los movimientos, es decir a la mecánica, ciencia de una materia esencialmente homogénea (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). La mixtión en cambio, implica la diversidad cualitativa de lo que sólo puede analizarse cambiando de propiedades. Crea, en efecto, nuevos cuerpos homogéneos a partir de cuerpos heterogéneos, lo cual no puede entenderse en términos de simple vecindad espacial entre partículas. El análisis de los mixtos, la caracterización de sus principios, es asunto sólo del químico (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Stahl plantea la diferencia entre fenómeno físico y fenómeno químico. Una mezcla es un fenómeno físico y la unión mixtiva o mixtión, es un fenómeno químico. Considera que en los cambios químicos hay un cambio de propiedades en las sustancias y deja percibir la descomposición química cuando expone que la mixtión crea nuevos cuerpos homogéneos a partir de cuerpos heterogéneos.

Por otra parte, Stahl reconoce dos principios para todos los mixtos que son el agua y la tierra, pero distingue tres tipos de tierra: la tierra vitrificable, que remite a la solidez, la tierra flogista, ligera e inflamable, y la tierra mercurial o metálica, que proporciona a los metales su maleabilidad y brillo. La identificación de estos principios se relaciona con la antigua teoría de la afinidad, por ejemplo: si los ácidos atacan a los metales, es porque presentan una analogía con los metales, porque comparten con ellos un principio (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

El inicio del siglo XIX verá aparecer la obra “Nuevo sistema de filosofía química” en la que el físico-químico inglés John Dalton (1766-1844) expondría su teoría atómica en 1804. Dalton formuló una hipótesis que identificaba los cuerpos simples con átomos. Al postular la existencia de los átomos como partículas indivisibles en las reacciones químicas, parece que se retorna a las ideas de los atomistas griegos pero la mecánica de Newton se refleja también en la primera teoría moderna de la Química, al atribuir como propiedad distintiva de los átomos su masa. A partir de ese momento, las diferencias observadas en las propiedades de los elementos se pretenden relacionar con la masa atómica (Delgado Castillo, 2000).

Los átomos de Dalton sólo guardan un vago parentesco con sus antiguos homónimos. Difieren de ellos en su definición: ya no son unidades mínimas de composición de la materia, sino unidades mínimas de combinación. Difieren también de los corpúsculos newtonianos, ya que no suponen ni el vacío ni la atracción y no tienen la ambición de explicar las propiedades del cuerpo simple en términos de una arquitectura complicada, cuyos átomos serían los constituyentes últimos (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Como señala Benarroch (2003), son herederos de la tradición química o corpuscularismo químico, cuyo desarrollo histórico es independiente e incluso competitivo del mecanicismo corpuscular.

Entre los problemas pendientes, se encontraba el determinar la forma en que se enlazan los átomos en la estructura particular de la sustancia y edificar un sistema de símbolos y notaciones que permitieran una comunicación universal.

En lo que respecta a la construcción de teorías que intentaran explicar la naturaleza del enlace químico, el primer ladrillo fue puesto por Berthollet entre fines del XVIII y principios del siglo XIX. La afinidad química, según Berthollet, debía atribuirse a las fuerzas newtonianas de gravitación universal. Sin embargo resultó que la afinidad química no es proporcional a las masas de los átomos que se unen en la molécula. Por ejemplo, el átomo de mercurio que ya se podía considerar mucho más pesado

que el del gas liviano hidrógeno -hoy sabemos que tiene 200 veces más masa- está mucho más débilmente unido al oxígeno en su óxido, que el hidrógeno en el agua. Otras razones derivadas de la práctica se encargan de rechazar el modelo de las fuerzas gravitacionales como soporte del enlace químico. Basta significar que la influencia de las fuerzas químicas es específica: el átomo de cloro se une al de sodio mediante fuertes lazos; con otro átomo de cloro lo hace débilmente y con el átomo de helio no se advierte afinidad alguna (Delgado Castillo, 2000).

También a principios del siglo XIX, se observaron que ciertas sustancias en estado líquido sufrían transformaciones químicas al ser atravesadas por la corriente eléctrica continua. Es así que, en 1833, Faraday, físico y químico británico (1791-1867) realizó estudios cuantitativos sobre este fenómeno que recibió la denominación de electrólisis.

El hecho de que la corriente eléctrica pueda producir transformaciones químicas, indica una relación entre la electricidad y la materia. Como la materia está constituida por átomos, éstos deben tener una estructura parcialmente eléctrica para que la electrólisis pueda efectuarse. En otras palabras, la electrólisis de las sustancias permitió inferir que la materia es de naturaleza eléctrica.

Sucedió a la tesis de Berthollet, la teoría electroquímica sobre la formación de compuestos químicos: atracción entre cargas opuestas -teoría dualista-. Esta teoría fue desarrollada por el químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779–1848) en la década del 1810 sobre la base de los experimentos de descomposición electrolítica. Basada en el paradigma eléctrico que apenas iniciaba su consolidación, esta teoría considera que cada átomo tiene dos polos, uno positivo y otro negativo, con predominio de uno de estos polos. Al unirse un átomo positivo con un átomo negativo, la carga eléctrica determina el grado de afinidad de los átomos simples (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Así por ejemplo, la fortaleza del óxido de magnesio es explicada por Berzelius en términos de la atracción del polo negativo del oxígeno -predominante en este átomo- con el polo positivo del magnesio -átomo de naturaleza electropositiva-. Sobre la base de dos fuerzas opuestas se puede construir un método simple de previsión de las reacciones químicas. Basta con clasificar los átomos simples en una escala que vaya del más electropositivo al más electronegativo, con el hidrógeno haciendo de puente entre ambos grupos.

Poco tiempo después, con la demostración de la existencia de las moléculas diatómicas como el cloro, y tanto más cuando el químico francés Jean Baptiste André Dumas (1800–1884) demostró en 1834 que en determinados procesos, elementos con predominio de polos contrarios se sustituyen unos a otros en la formación de compuestos, la teoría electroquímica fue, si no derrumbada, al menos drásticamente reducida en su grado de generalización.

A mediados del siglo XIX, un nuevo fenómeno aparece: los rayos catódicos. Estos rayos fueron estudiados por el físico inglés William Crookes (1832-1919); están constituidos por partículas materiales que poseen carga eléctrica negativa, a las que J. Stoney les dio el nombre de electrones.

Más tarde, en 1886, Goldstein descubrió experimentalmente los rayos canales, cuyo análisis permitió postular que los átomos estaban constituidos por partículas con carga positiva, a las que llamó protones. Luego, por medio de técnicas adecuadas, se estableció la masa y la carga eléctrica. Posteriormente, Thomson (1856-1940) en 1897 y Millikan en 1909 determinaron la masa y la carga eléctrica de los electrones.

El hecho de haberse comprobado que en los átomos hay dos clases de partículas materiales, electrones con carga negativa y protones con carga positiva, confirma la divisibilidad de los átomos y la naturaleza eléctrica de la materia.

En esta misma época, precisamente en 1887, el químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) interpretó la conductividad eléctrica de las soluciones salinas suponiendo que la sal en disolución se disocia en dos tipos de partículas independientes: unas cargadas positivamente y las otras negativamente, es decir los iones.

Para explicar la estructura del átomo, los investigadores fueron proponiendo diferentes modelos a medida que se realizaban las diversas experiencias. Así, a fines del siglo XIX, precisamente en 1898 **Thomson** expuso lo que se considera el primer modelo atómico. Este modelo supone que **el átomo es una esfera uniformemente cargada de electricidad positiva, dentro de la cual están los electrones negativos**. El átomo es eléctricamente neutro, porque las cargas negativas de los electrones equivalen a las positivas de la esfera.

Un importante eslabón en la edificación de la teoría del enlace químico fue aportado hacia mitad del siglo XIX por el químico inglés Edward Frankland (1825–1899). Al

estudiar la formación de algunos compuestos organometálicos, advierte la necesidad de introducir el concepto de valencia para expresar numéricamente la capacidad de combinación de un elemento (Delgado Castillo, 2000).

Según Frankland, todo sucede como si los átomos de cinc o de estaño, tuviesen precisamente espacio suficiente para fijar un número determinado y definido de átomos de otros elementos, e introduce el término “valencia” en 1852. Surge así el núcleo de la teoría de la valencia química.

La complejidad estructural que iban presentando los compuestos orgánicos se levantaba como un obstáculo para describir una teoría de la valencia de relativa simplicidad conceptual. En este terreno, el descubrimiento de los isómeros estructurales, sustancias que respondiendo a la misma fórmula difieren en sus propiedades, y de los isómeros ópticos, sustancias que sólo se distinguen en el sentido que hacen girar el plano de polarización de la luz polarizada, puso sobre el tapete dos problemas de difícil explicación. Para los investigadores de la época tales diferencias debían encontrar respuestas en el diferente ordenamiento de los átomos en la estructura molecular (Delgado Castillo, 2000).

Correspondió al arquitecto alemán F. A. Kekulé (1829-1896), devenido en químico y principal arquitecto de la estructura molecular de los compuestos orgánicos, edificar los principios de la primera teoría estructural.

Aún desconociendo la naturaleza del enlace químico propuso un ordenamiento, según la valencia de los átomos, en la estructura molecular de las sustancias. En lo esencial esta forma de representación en el plano de las fórmulas estructurales de las moléculas llega hasta nuestros días y permitió la estructuración de las familias orgánicas de acuerdo con la presencia de determinados grupos funcionales.

El problema de la explicación estructural de los isómeros ópticos debió esperar por la comprensión de la orientación espacial de los átomos en la estructura de las moléculas y un primer paso en esta dirección fue dado por el químico holandés Jacobus H. Van't Hoff (1852–1911) al proponer la orientación tetraédrica de las valencias en el átomo de carbono, que da nacimiento a la estereoquímica como rama que se ocupa de definir la geometría molecular de las sustancias.

En el siglo XIX, el enlace químico era representado por una línea entre los símbolos de los elementos químicos, pero esto sólo tiene significado cualitativo sobre la

estructura molecular, ya que la estructura del enlace aún era completamente desconocida (Sánchez González, 2004).

A pesar de los avances obtenidos habría que esperar al próximo siglo para edificar una teoría que diera respuesta a la naturaleza del enlace químico (Delgado Castillo, 2000).

El descubrimiento de la radiactividad permitió seguir avanzando en la interpretación de la estructura del átomo. Así a principios del siglo XX, precisamente en 1911, Lord Ernest Rutherford con la finalidad de comprobar la veracidad del modelo de Thomson, investigó la dispersión que experimentaban las partículas alfa al atravesar una lámina delgada de oro. El resultado de esta experiencia le hizo descartar el modelo de Thomson y le permitió deducir cómo están distribuidas las cargas eléctricas y la masa en el átomo. De esta manera **Rutherford propuso un nuevo modelo atómico, constituido por un núcleo cargado positivamente y rodeado de electrones.**

Un par de años más tarde, en 1913, un joven físico danés llamado **Niels Bohr** (1885-1962) en base a la interpretación de los espectros atómicos, propone que los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas y son susceptibles de saltar de una órbita a otra absorbiendo o emitiendo un cuanto luminoso correspondiente a la diferencia energética entre ambas órbitas.

Así, el descubrimiento de la estructura electrónica de los átomos, la descripción del modelo nuclear y de los estados estacionarios de los electrones, la formulación de una nueva ley periódica para las propiedades de los elementos químicos basada en la carga nuclear de los átomos, constituyeron premisas para comprender la naturaleza del enlace químico que esperaba una coherente explicación desde mediados del siglo pasado.

Sobre la base de que la reactividad del átomo está determinada por la última órbita, incompleta a excepción de los gases nobles -los cuales son los únicos que pueden existir de forma estable en estado libre- y que sólo es estable la combinación que permita a los diferentes átomos completar su órbita externa, en 1916 se publican los trabajos del físico alemán Walther Kossel (1888-1956) y del químico físico de la Universidad de California Gilbert Newton Lewis (1876–1946) que presentaron una notable repercusión en el tratamiento posterior de este problema.

Kossel desde la Universidad de Munich propone una interpretación de la ionización: cada ión ha completado su órbita externa, adoptando de este modo una configuración similar a la del gas noble más próximo, los iones negativos por ganancia y los positivos por pérdida de uno o varios electrones. De este modo Kossel fue el primero en postular la posible transferencia electrónica desde un átomo electropositivo hacia otro electronegativo como mecanismo de formación del llamado enlace iónico, que supone su fortaleza por la fuerza electrostática desarrollada entre las especies cargadas con signo opuesto (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

La idea de la posible existencia de dos tipos de compuestos con enlaces polares – ionizable- y no polares -covalente- expuesta inicialmente por Lewis en el 1916, fue complementada en los años siguientes cuando formula la tesis de que el enlace no polar en las sustancias moleculares es el resultado del compartimiento de un par de electrones por parte de los átomos unidos. En este caso, la molécula no es ionizable sino que hay interpenetración de las órbitas externas de los átomos, lo que permite a cada uno completar su órbita por compartición de electrones.

La idea de Lewis de describir el enlace mediante el apareamiento de electrones, no es del todo correcta, ya que según su modelo, el enlace de los átomos de hidrógeno para formar la molécula de hidrógeno, H_2 sería idéntico al de F_2 , cosa que no es cierta. Aunque en ambos casos se trata de aparear electrones, las longitudes y energías de enlace son muy diferentes. Es por esto que es necesario ampliar la perspectiva (Sánchez González, 2004).

Los modelos de Kossel y Lewis, en sus aspectos cualitativos, llegan hasta nuestros días como una primera visión acerca del enlace químico. Pero la necesaria profundización llegó a partir de 1927 cuando se introducen en el pensamiento químico las ideas de la mecánica cuántica.

El modelo atómico de Bohr explicaba bien los espectros del átomo de hidrógeno; sin embargo, no ocurría lo mismo en los espectros realizados para átomos de otros elementos, en los que se observaba que electrones de un mismo nivel energético tenían distinta energía. Esto obligó a continuar las investigaciones y la conclusión fue, que dentro de un mismo nivel energético existían subniveles. Fue así que en 1916, para explicar el desdoblamiento de las líneas espectrales, el físico alemán **Arnold Sommerfeld** (1868-1951), consideró que las orbitas del electrón son elípticas. Así, Sommerfeld modifica el modelo atómico de Bohr, en el cual los

electrones sólo giraban en órbitas circulares. Este conocimiento dio lugar a un nuevo número cuántico: “el número cuántico secundario o azimutal”, que determina la forma de los orbitales, se lo representa con la letra “l” y toma valores que van desde 0 hasta $n-1$.

En 1927, un año después de la publicación del artículo del físico austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961) en el cual fue propuesta la ecuación de onda que lleva su nombre, el físico alemán Walter Heitler (1904–1981) y Fritz London (1900–1954) introdujeron la teoría del enlace de valencia (TEV) (Sánchez González, 2004) y desarrollaron el cálculo mecánico cuántico de la molécula de hidrógeno, que dio una explicación cuantitativa del enlace químico. De esta manera demostraron que la molécula de hidrógeno podía representarse por la superposición de dos funciones de onda (Delgado Castillo, 2000; Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). En otras palabras el enlace de dos átomos de H se debe al solapamiento de dos orbitales 1s de cada átomo, de esta manera el enlace está formado por dos orbitales atómicos que comparten una región común del espacio.

En esencia el cálculo desarrollado por Walter Heitler y Fritz London vino a demostrar que durante el acercamiento de dos átomos con electrones de spins opuestos ocurre un aumento de la densidad de la nube electrónica en el espacio entre los núcleos, que se acompaña con una disminución considerable de la energía del sistema, que por el principio de conservación de la energía, esta disminución debe estar acompañada por una liberación de energía, lo cual se ha comprobado experimentalmente. Surge el enlace con la formación así de un sistema más estable (Sánchez González, 2004). De esta manera la TEV tiene en consideración los aspectos energéticos del enlace, lo que no sucedía en la teoría de Lewis, que trata a todos los enlaces por igual y no ofrece explicación de por qué unos enlaces difieren de otros.

De esta manera comenzaría a desarrollarse un nuevo sistema de categorías para explicar las características del enlace químico. Podríamos decir que con el surgimiento de la teoría cuántica aparece un nuevo paradigma dentro del cual emergen algunos conceptos con un contenido cualitativamente distinto como: orbital atómico y orbital molecular que ahora designan regiones con determinada probabilidad de encontrar electrones, las nociones de energía de enlace para indicar su fortaleza, radio o distancia internuclear promedio para señalar las posiciones relativas de los núcleos, densidad electrónica relativa para denotar la

existencia de los sitios activos responsables de la reactividad, y orden de enlace para advertir la multiplicidad que presentan los átomos al enlazarse.

Las representaciones de Heitler y London sobre el mecanismo de la formación del enlace sirvieron de base para la explicación y el cálculo por aproximación del enlace en moléculas más complejas. Estas representaciones fueron desarrolladas por el método de enlaces de valencia o de pares electrónicos introducidos por los estadounidenses J. Slater (1900–1975) y Linus Pauling (1901-1994). La formación del enlace es comprendido como el solapamiento de las funciones de ondas de los electrones en juego. La orientación espacial que adoptan estos enlaces y que determinan la forma geométrica de la molécula, obedece a la máxima posibilidad de solapamiento de las funciones de ondas que participan en la formación del enlace. Sobre la base de estos principios desarrollan la productiva teoría de hibridación de los orbitales atómicos que explica la capacidad de combinación mostrada por los átomos y la geometría que exhiben las moléculas.

A pesar de la fertilidad mostrada por el método de los enlaces de valencia, sus presupuestos fueron incapaces de dar explicación a determinados hechos experimentales como el paramagnetismo mostrado por la molécula de oxígeno. Más fructífero para la explicación y el cálculo del enlace covalente resultó el método de orbitales moleculares elaborado en sus fundamentos por R. Millikan (1868–1953). Hay diversas variantes del método de orbitales moleculares. Merece una especial atención la propuesta de E. Hückel (1896-1980) para las moléculas orgánicas, el llamado método de combinación lineal de los orbitales atómicos. Como resultado de la utilización de este método se formaron tres conceptos de gran significado en la química orgánica moderna, el orden de enlace, la densidad electrónica π y el índice de valencia libre (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Asimismo la teoría de los orbitales moleculares y la de hibridación de orbitales permitió explicar muchas propiedades físicas y químicas de las sustancias, tales como longitudes y ángulos de enlace, facilidad de oxidación, acidez y basicidad.

El desarrollo de la teoría del enlace químico no sólo ha sustentado las propiedades de los nuevos materiales sintéticos sino que han orientado el diseño de complicadas estructuras moleculares en el campo de los complejos metal-orgánicos y de los polímeros biológicos, abriendo paso a la comprensión de los mecanismos, a nivel molecular, de los procesos que definen la génesis hereditaria y la inmunidad

biológica y dan lugar a nuevas conquistas de las Ciencias en el campo de la Biología Molecular y la Ingeniería Genética (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Otro aspecto destacable de esta evolución científica es la relevancia de esta área de investigación durante los últimos 100 años en el ámbito científico y la provisionalidad prevista para cualquier propuesta corpuscular. Podríamos decir que entrar en este mundo es hoy en día una interesante y atractiva aventura, de la que es difícil “desengancharse”.

En la actualidad, el área de investigación encargada de identificar y estudiar las propiedades de los constituyentes íntimos de la materia se denomina física de las partículas elementales o física de las altas energías. La importancia de estos estudios se ve reconocida en que algunos premios Nobel han recibido el galardón de la Academia de Suecia por trabajar en este campo. Es el caso de los Premios Nobel de Física 1999, los alemanes Hooft y su profesor Veltman, por su trabajo en un modelo matemático idóneo que permita comprender los secretos de la naturaleza.

Actualmente, el modelo de partículas admitido es el llamado **modelo standard**, aquí resumido según la web realizada por el Proyecto educativo de Física contemporánea, a cargo del Profesor Barnett del Lawrence Berkeley National Laboratory. Según el modelo standard, a la escala de distancias de 10^{-18} metros, la materia está formada únicamente por tres generaciones de partículas materiales llamadas quarks (up, down, charm, strange, top y bottom) y leptones (el electrón e, el muón m, el tau t y sus correspondientes neutrinos ν_e , ν_μ y ν_τ). Cada generación es un grupo formado por un quark y un leptón de cada uno de los tipos de carga. Cada generación es más pesada que la generación previa. En realidad, toda la materia del universo visible está formada sólo partículas de la primera generación pues las de la segunda y tercera son inestables y decaen hacia partículas de la primera.

Por otro lado, hay cuatro interacciones fundamentales: la conocida interacción gravitatoria, responsable, entre otros fenómenos, de las mareas y de los movimientos de los cuerpos celestes; la interacción débil, responsable de algunos fenómenos radiactivos y que participa del proceso de generación de energía en el Sol; la interacción electromagnética, responsable de la estabilidad atómica y base de todos los procesos químicos; y la fuerte, que en la forma fundamental es la

responsable de la estabilidad dentro de los protones y neutrones y en la forma residual, es la responsable de las interacciones entre dichas partículas.

Cada una de estas interacciones se debe a un tipo de partícula portadora de fuerza.

Así:

- a) la fuerte, se debe al gravitón, partícula aún no detectada
- b) la débil, a los bosones W y Z
- c) la electromagnética, a los fotones
- d) la fuerte fundamental a los gluones
- e) por último, la fuerte residual a los mesones.

Una de las ambiciones permanentes de los físicos ha sido construir una formulación teórica que describa de forma unificada todas las interacciones. En este proceso imparable, se han aplicado frecuentemente los denominados "métodos de renormalización", que, modificando ciertas hipótesis de partida, dan a las teorías sobre las que se aplican más poder explicativo y predictivo. Precisamente, el trabajo de los Premios Nobel recientemente galardonados ha sido la renormalización del modelo que integra la interacción electromagnética y la débil. Gracias a este trabajo, ha surgido la teoría electrodébil, que predijo en 1973 fenómenos nuevos que podían ser contrastados experimentalmente. En 1989 entra en funcionamiento en el CERN (Laboratorio europeo para la física de partículas), el acelerador LEP (Large Electron Positron Collider) y se inicia un ambicioso programa experimental que a finales del año 2000 finaliza y que confirma la teoría electrodébil.

Los programas de investigación que se llevan a cabo en los grandes laboratorios internacionales (CERN, DESY, SLAC, FERMILAB, KEK) pueden depararnos fascinantes descubrimientos que, probablemente, clarifiquen nuestra concepción de la estructura última de la materia y de las leyes que rigen la evolución del universo. Es muy plausible que, explorando la materia a distancias aún más pequeñas, aparezcan nuevas regularidades que permitan progresar en el proceso de descripción unificada de todas las interacciones.

1.2. Aportaciones Teóricas de la Epistemología de los Modelos de Materia

La validez de un modelo, siguiendo criterios racionales, depende de su coherencia interna y de su simplicidad (cualidades sintácticas) pero también de su poder explicativo y predictivo (cualidades semánticas) (Delattre, 1979; Walliser, 1977, citado en Barboux y otros, 1987). Por tanto, un modelo es tanto mejor cuanto más extenso sea su dominio de validez, es decir, cuando permite explicar, de la forma más simple posible, un conjunto más amplio de fenómenos.

El modelo cinético corpuscular es suficiente para explicar y predecir, en una primera aproximación académica, el comportamiento de la materia en una variedad muy amplia de fenómenos físicos, como los efectos del calor (dilataciones, cambios de estado y variaciones de temperatura), el comportamiento de los gases (compresiones y expansiones), los fenómenos moleculares de los líquidos, la difusión y ósmosis, las disoluciones, etc.

Pero además, este modelo también puede ser usado para introducir al alumno en la naturaleza y comportamiento químico de la materia, pues permite, por un lado, hacer una interpretación de las diferencias de comportamiento empírico de las mezclas y de las sustancias puras y, por otro, diferenciar cambios físicos y químicos de la materia. Para ello se requiere realizar la asociación partícula = molécula y, de este modo, las mezclas son los sistemas materiales formados por distintos tipos de partículas.

Una relación aproximada de los distintos modelos de materia y sus dominios de validez se grafica en la figura 1 y se hace más explícita en la tabla 2.

A pesar del amplio dominio de validez del modelo cinético-corporuscular que aquí tan solo se ha esbozado, si se pretende distinguir entre sustancia simple y compuesta, o interpretar las leyes de las reacciones químicas, esto no puede realizarse con ese modelo. Se requiere de un modelo de materia con mayor dominio de validez, tal como el **modelo atómico de Dalton** (ampliado con la Hipótesis de Avogadro) (Bullejos y otros, 1995). La partícula fundamental en este modelo es el átomo, identificado como la unidad última que toma parte en los cambios químicos. En cambio, las moléculas son las partículas físicamente separadas que forman la materia. Por tanto, los conceptos de átomo y molécula adquieren su sentido diferenciador en este modelo y no en el anterior.

Evidentemente, si se pretenden explicar los fenómenos de radiactividad nuclear, o los asociados a la electrización de la materia, el modelo atómico de Dalton resulta insuficiente y así fue como **Rutherford** lanzó entonces la hipótesis, que Geiger y Marsden enfrentaron a las conclusiones de su experimento, de que en el centro del átomo debía haber un "núcleo" que contuviera casi toda la masa y la carga positiva del átomo, y que de hecho los electrones debían determinar el tamaño del átomo.

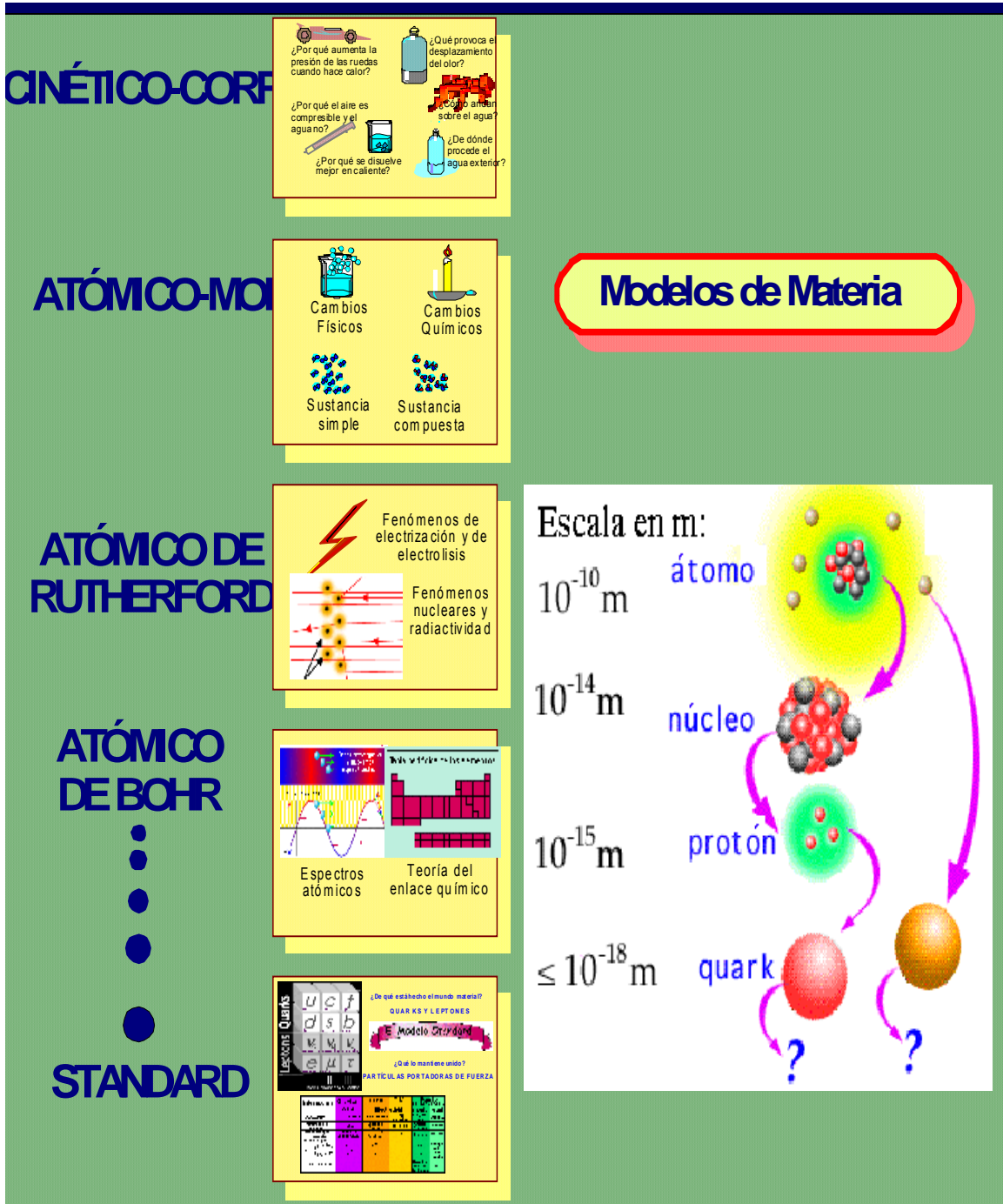


Figura 1. Relación aproximada de los distintos modelos de materia y sus dominios de validez. Tomado de Benarroch (2007).

MODELOS DE MATERIA	DOMINIOS DE VALIDEZ
MODELO CINÉTICO-CORPUSCULAR	<ul style="list-style-type: none"> ❖ FENÓMENOS FÍSICOS (COMPORTAMIENTO DE LOS GASES, DISOLUCIONES, EFECTOS DEL CALOR, PROPIEDADES MOLECULARES DE LÍQUIDOS, ETC.) ❖ DISTINCIÓN ENTRE MEZCLAS Y SUSTANCIAS PURAS (CONCEPTO DE SUSTANCIA PURA COMO FORMADA POR UN MISMO TIPO DE PARTÍCULAS)
MODELO ATÓMICO-MOLECULAR (CLASIFICACIÓN DE CORPÚSCULOS EN ÁTOMOS Y MOLÉCULAS)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ DISTINCIÓN DE ELEMENTOS Y COMPUESTOS ❖ CAMBIOS QUÍMICOS COMO REORGANIZACIÓN DE ÁTOMOS
MODELO ATÓMICO DE RUTHERFORD (ÁTOMO FORMADO POR NÚCLEO POSITIVO Y CORTEZA NEGATIVA)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ FENÓMENOS DE ELECTRIZACIÓN Y DE ELECTROLISIS ❖ FENÓMENOS NUCLEARES ❖ EXPLICACIÓN DE PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS Y DE SUS TRANSFORMACIONES (ENLACES QUÍMICOS)
MODELO ATÓMICO DE BOHR (ELECTRONES CON ENERGÍA CUANTIFICADA)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ ESPECTROS DE EMISIÓN DEL HIDROGENO ❖ EFECTO FOTOELÉCTRICO
MODELO ATÓMICO DE SOMMERFIELD (NUEVA CUANTIFICACIÓN...)	<ul style="list-style-type: none"> ❖ ESTRUCTURA FINA DEL ESPECTRO DEL HIDROGENO
MODELOS ONDULATORIOS	<ul style="list-style-type: none"> ❖ ESPECTROS ATÓMICOS DE ELEVADA RESOLUCIÓN (EFECTO ZEEMAN, ETC.) ❖ ENLACE COVALENTE (GEOMETRÍA MOLECULAR)

Tabla 2. Relación aproximada de los distintos modelos de materia y sus dominios de validez.

Las últimas objeciones teóricas (sobre la irradiación del electrón) se desvanecieron con los principios de la teoría cuántica, y la adaptación que hizo **Niels Bohr** del modelo de Rutherford a la teoría de Max Planck, lo que sirvió para demostrar la estabilidad del átomo de Rutherford. Esto es, para Bohr, los electrones tienen una energía cuantificada, lo que le permitió explicar el espectro atómico del Hidrógeno.

El físico alemán **Arnold Sommerfeld** (1868-1951) completó este modelo atómico de Bohr considerando que las órbitas descritas no eran circulares, sino elípticas, y desarrolló las correcciones correspondientes. Las nuevas cuantificaciones y cálculos que realiza no sólo explican los espectros atómicos más finos, sino que terminan de convencer sobre la validez del modelo de Bohr al resto de la comunidad científica.

No vamos a seguir refiriéndonos a otros modelos de materia, pues a medida que avanzamos nos alejamos del nivel perceptivo o experiencial del alumno. En cualquier caso, hay un debate abierto sobre los modelos de la materia en la educación obligatoria. Por ejemplo, si el Ministerio de Educación, Política Social y Deportes español (1989) alcanza el Modelo Atómico de Bohr-Sommerfeld para los últimos cursos de la Educación Obligatoria (ciclo 14-16 años), la propuesta de la Junta de Andalucía (Carmona y otros, 1989) se conforma con el Modelo de Dalton para el mismo ciclo. Avanzar más significa mayor dominio de validez pero también mayor coste y son las investigaciones didácticas las que deben marcarnos las pautas sobre la oportunidad de los distintos modelos en los sucesivos ciclos de la enseñanza.

Para la ciencia, cada modelo es una construcción humana que se ajusta a ciertos hechos y proporciona una perspectiva de los mismos, por lo que todos son parciales e imprecisos. Todos estos modelos son como mapas de la realidad (Giere, 1988). No hay un mapa auténtico que reproduzca la realidad. Lo importante no es que reproduzca esa realidad sino que sea útil y práctico para un determinado objetivo. No tendría ningún sentido representar el agua que interviene en una disolución mediante algún modelo químico, ni el agua que interviene en una electrolisis mediante el modelo cinético-corpúscular. Cada modelo sirve para representar una fracción de la realidad diferente.

1.3. Implicaciones para la investigación que nos ocupa

Esta breve inmersión en la historia de la ciencia y en la epistemología de los modelos de materia, pone de manifiesto que:

- Uno de los hitos históricos de más difícil alcance ha sido, como se ha podido comprobar la distinción entre mezcla y sustancia compuesta (en términos históricos, agregación y mixtion respectivamente), considerada la primera una unión mecánica o física y la segunda una unión química. Esta distinción no está resuelta aún en los planteamientos de enseñanza-aprendizaje de la Química.
- Un aspecto que conviene tener presente en cualquier trabajo que trate de indagar en el conocimiento del estudiante sobre la naturaleza de la materia, es el destacado papel que desempeñan los modelos en la interpretación

científica de la misma. Tanto es así que, para muchos autores, lo importante no es enseñar determinados modelos químicos, sino enseñar a modelizar (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2005; Sanmartí, 2002). Podríamos decir que un modelo químico es una construcción humana simple, coherente y útil para explicar el funcionamiento de un dominio o de una parte de una realidad.

- Cuando los dominios de validez de dos modelos diferentes son envolventes, esto es, que el segundo vale para explicar lo que explica el primero y algo más, un primer acercamiento a la investigación sobre la construcción del conocimiento del estudiante parece lógico que se plantee progresivamente, de modo que habría que comenzar indagando en el ámbito explicativo del modelo más simple e ir avanzando paulatinamente hacia el del más complejo. Por ejemplo, si se pretende conocer cómo se construye el conocimiento del alumno en el ámbito del modelo atómico de Dalton y del modelo atómico de Bohr-Sommerfeld, la estructura envolvente de sus dominios de validez respectivos sugiere que habría que ir ampliando progresivamente las parcelas de la realidad que se pretenden explicar, desde la más reducida hasta la de mayor amplitud. Esto es generalizable a cualquiera de los modelos químicos propuestos desde Dalton hasta la actualidad.
- Como advertencia a lo anterior, conviene tener presentes las difíciles relaciones entre dos de los modelos de materia más comunes en la educación obligatoria: el modelo cinético-corpúscular y el modelo atómico-molecular de Dalton. Como se ha comprobado en el breve análisis histórico y epistemológico realizado con anterioridad, proceden de tradiciones o visiones de materia históricamente diferentes. Así, la teoría atómica de Dalton es heredera de una tradición o visión de la materia, que se ha dado en llamar sustancialismo o corpúscularismo químico (Solís, 1985), cuyo desarrollo histórico se muestra independiente e incluso competitivo con el desarrollo del mecanicismo corpúscular, tradición que daría lugar a la teoría cinético-corpúscular de la materia. Si históricamente se muestran independientes, no dejan de serlo en el ámbito epistemológico actual. Como señala Ten Voorde (1990), la partícula física es teórica; el átomo químico es empírico. Pero lo peor, desde la perspectiva didáctica es que ambos pueden dar lugar a representaciones muy distintas de una misma realidad y, lo que

es más conflictivo, que representaciones iguales simbolizan en ambos contextos realidades muy distintas (Benarroch, 2003).

Para visualizar esto, véanse los dos ejemplos que se exponen a continuación. En el primero, es decir figura 2, se presenta una única imagen cuyo significado va a depender del modelo de materia en el que se inserte. Así, si se inserta esta figura en el contexto del modelo cinético-corpúscular, en el que todas las partículas son idénticas, la imagen podría estar representando cualquier sustancia pura simple o compuesta (hidrógeno, oxígeno, agua, etc.) pues en este modelo no se explicita ni importa la composición de las partículas. Así, podría estar representando tanto al agua, como al oxígeno, e incluso al aire. En cambio, si el modelo desde el que se interpreta la imagen es el modelo atómico-molecular de Dalton, la imagen tendría que estar representando a una sustancia simple monoatómica, como un gas noble.

En el ejemplo siguiente, expuesto en la figura 3, se observan dos imágenes diferentes que podrían estar representando un mismo objeto, como el agua, si se insertan en modelos diferentes. En el modelo cinético-corpúscular, cada partícula representa a la molécula de agua. En el modelo atómico-molecular, cada partícula diferente representa un tipo de átomo, de modo que las azules representan los átomos de oxígeno y las celestes los átomos de hidrógeno. Las asociaciones de dos bolitas celestes con una azul representan a las moléculas de agua.

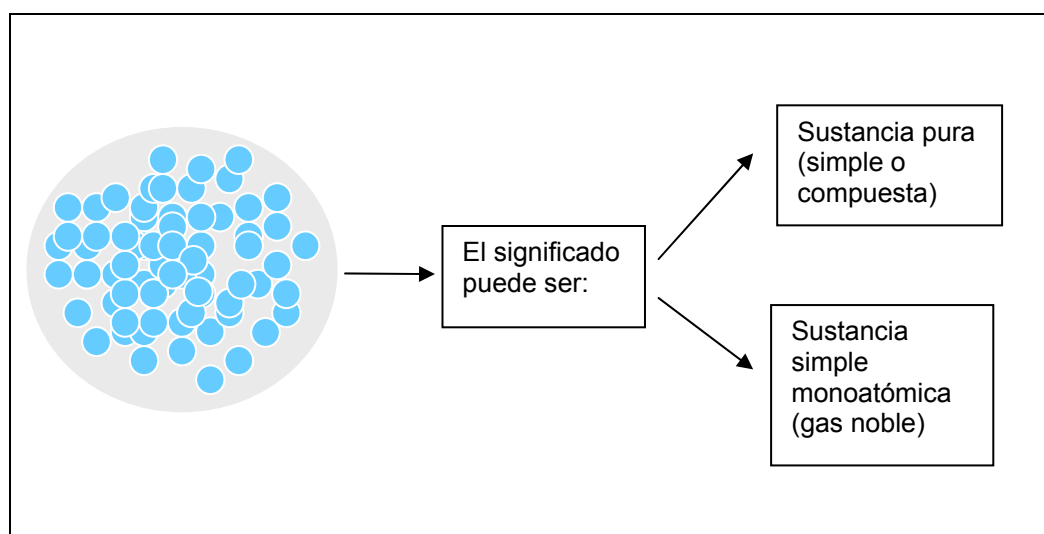


Figura 2. Ejemplo de una representación que, según el modelo en el que se inserte, adquiere significados diferentes.

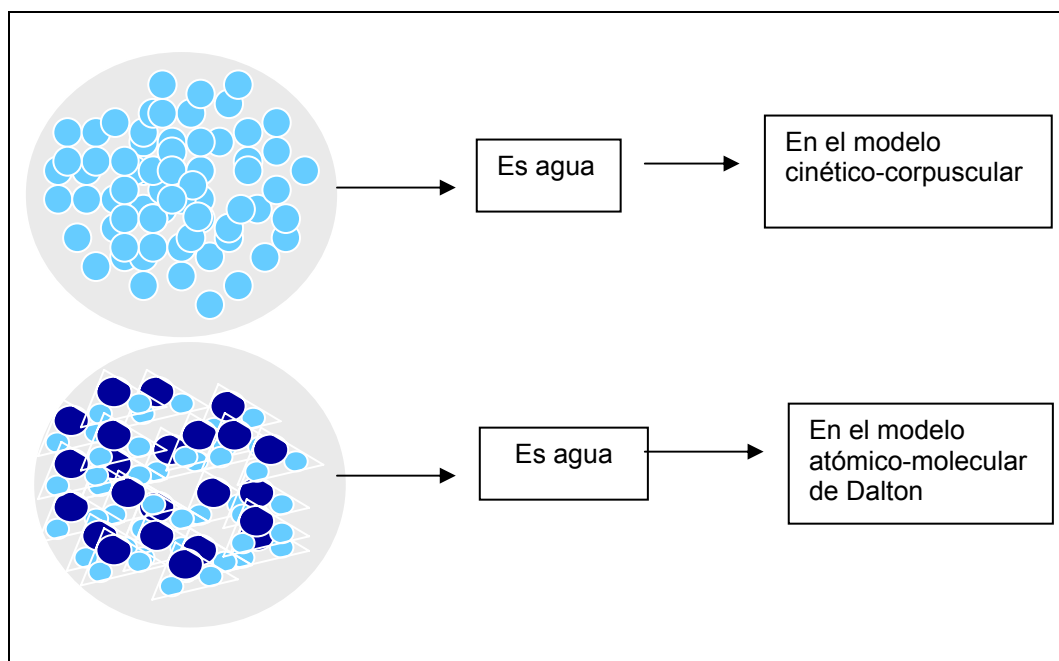


Figura 3. Ejemplo de dos representaciones diferentes que, al estar insertadas en modelos diferentes, simbolizan una misma realidad.

Por tanto, en el ámbito de los modelos de materia, hay que distinguir entre los modelos en sí mismos y las representaciones o imágenes que los investigadores y científicos suelen utilizar como concreciones de los modelos teóricos. Respecto a ellas, conviene destacar dos aspectos importantes: en primer lugar, su significado se concreta, como acabamos de comprobar, en el marco del modelo químico en el que se inserta. En segundo lugar, no son un medio sino un fin en sí mismas, pues forman parte del imaginario pedagógico del modelo. Aprender a hacer estas representaciones y acompañar estos dibujos y esquemas de significados es una tarea que ayuda a conseguir objetivos de enseñanza específicos relacionados con la naturaleza y estructura de la materia y, además, objetivos de enseñanza generales, relacionados con el desarrollo cognoscitivo del estudiante.

2. APORTACIONES TEÓRICAS DESDE LA PSICOLOGÍA DEL APRENDIZAJE

2.1 El Enlace Químico y el Desarrollo Cognitivo del alumno

En virtud del curriculum en espiral, el contenido de las uniones químicas o de los enlaces químicos se imparte desde los comienzos de la educación secundaria del

plan actual (12-16 años). Si bien este tema se enseña en cada uno de estos cursos con diferentes grados de profundidad, no se debe olvidar que el alumno a esta edad se encuentra en el estadio de pensamiento operatorio concreto. El enlace químico es un tema abstracto, lejano a la experiencia diaria. No se puede “ver” un átomo, su estructura o cómo se une con otro átomo (Galagovsky y otros, 2003). También Johnstone (1991, citado en Galagovsky y otros, 2003) plantea que no hay una forma sencilla de percibir conceptos tales como elemento y compuesto químico. Por lo tanto muchos alumnos tienen dificultad en comprender estos conceptos y hay un gran potencial para la formación de concepciones alternativas (Kim–Chwee y Treagust, 1999). Por otra parte la interacción entre los niveles de representación microscópico, submicroscópico y simbólico (Han y Roth, 2005) es una fuente de dificultad para muchos estudiantes (Ünal y otros, 2006).

La teoría de Ausubel propone que, para que se pueda producir aprendizaje significativo, es necesaria la existencia previa de ideas inclusoras en las mentes de los alumnos. De acuerdo con esta teoría es importante lograr un aprendizaje de naturaleza jerárquica descendente, es decir, conceptos más generales deben ser inclusores de conceptos más específicos (De Posada, 1999). En el tema de los enlaces químicos, el concepto más general es el de estructura de la materia; se trata de un concepto abstracto, asociado a un aparato matemático muy complejo que requiere de un pensamiento lógico y formal, que a los 13–15 años, el alumno difícilmente tiene. Esto hace que tanto la enseñanza como el aprendizaje de los modelos cuánticos (necesarios para la comprensión de los enlaces químicos) tenga un carácter problemático para profesores y alumnos (Solbes y otros, 1987) lo que explicaría en parte, a nuestro juicio, la dificultad de los alumnos en el tema de la estructura de la materia y de los enlaces químicos.

Según Solbes y Vilches (1991), los libros de texto hacen un tratamiento didáctico incorrecto en el que hay una yuxtaposición de concepciones y modelos químicos. Clasifican a éstos en clásicos, precuánticos (Bohr, Sommerfeld) y cuánticos (Heissemberg y Shrodinger). Literalmente, según estos autores, se utilizan “*los modelos precuánticos de la teoría electrónica de valencia para el iónico (la transferencia de electrones de Kossel-1916-) y para el covalente (el par de electrones compartidos de Lewis -1916-); el modelo cuántico del enlace de valencia e incluso de orbitales moleculares, también para el enlace covalente; y el modelo clásico del gas de electrones libres de Drude -1900- y Lorenz -1909- para el metálico*”. (op. cit. p.54).

Desde su punto de vista, esta mezcla de modelos impide una visión unitaria del enlace ya que no deja claro que la unión de los átomos es de origen electromagnético y que la única manera de explicarlo correctamente es mediante los conceptos cuánticos.

El estudio de la estructura de la materia y de las uniones químicas conlleva a una introducción de conceptos fundamentales de física moderna (física cuántica). La teoría cuántica es compleja y requiere un pensamiento lógico y formal que de acuerdo a nuestra experiencia, el alumno de 13–15 años difícilmente posee. Como consecuencia esta teoría presenta grandes dificultades conceptuales. Esto conduce a que la enseñanza de las uniones químicas se realice a través de modelos contruidos para el currículum escolar sencillos como el de Lewis (Martín y Sánchez, 1999). Estos modelos aproximados son accesibles a los alumnos de Secundaria pero según Solbes y Vilches (1991), pueden conducir a una concepción limitada sobre la estructura de la materia y las uniones químicas que puede dificultar un aprendizaje posterior, de modo que, una vez que el alumno tiene en su estructura cognitiva el modelo atómico clásico o precuántico, y ha alcanzado a comprender la construcción de las uniones químicas basada en estos modelos, podría tener dificultades para el aprendizaje de los modelos actuales o cuánticos.

Lo expuesto sobre la estructura de la materia y sobre las uniones químicas, nos permite en cierta manera afirmar que las dificultades conceptuales de los alumnos se deben a su experiencia escolar ya que tanto en los libros de textos como en la enseñanza se evidencia una mezcla de modelos clásicos y cuánticos. Nos encontramos pues, frente a una situación en la que consideramos que el problema didáctico se produce cuando el profesor y los libros de texto yuxtaponen o incluso mezclan el paradigma clásico con el paradigma cuántico, sin mostrar la existencia de una ruptura entre ambos. En síntesis, y siempre siguiendo a estos autores, es necesario un tratamiento clarificador que muestre cómo las ideas introducidas entran en conflicto con las clásicas y también con la estructura conceptual del alumno (Solbes y otros, 1987).

2.2. La construcción del conocimiento en el estudiante

Desde una perspectiva constructivista, el conocimiento escolar se entiende como un conocimiento relativo, que no se identifica con una concepción del mundo a la que inevitablemente hay que llegar y que se construye de forma gradual y

progresiva en la actividad escolar. La secuenciación de los contenidos se sitúa, en relación con este planteamiento, en una perspectiva evolutiva del conocimiento escolar, en la que se define el aprendizaje como el cambio en los sistemas de ideas de los sujetos; como un proceso, abierto e irreversible, de reorganización continua, proceso en el que lo nuevo se elabora a partir de lo viejo, bien mediante pequeños ajustes de dichos sistemas de ideas (asimilación, reestructuración débil), bien mediante ajustes más amplios (acomodación, reestructuración fuerte).

Este principio evolutivo supone considerar que, para un determinado contenido, son posibles diferentes niveles de formulación o niveles explicativos. El concepto de niveles explicativos ha sido desarrollado en la didáctica de las ciencias, sobre todo, por parte de autores francófonos: los alumnos construyen los contenidos escolares partiendo de sus representaciones iniciales mediante un proceso de aproximaciones sucesivas, de manera que a un objetivo no se llega de una vez sino a través de una serie de pasos, que se corresponden con los diferentes niveles explicativos. Cada nivel supone una determinada epistemología o un incremento de complejidad respecto al nivel precedente, pues en el paso de uno a otro la información no sólo aumenta sino que se reorganiza de manera distinta. Por otra parte, se constata que hay cierta resistencia a que dicha transición tenga lugar, por lo que se puede afirmar que el paso de un nivel a otro conlleva la superación de unos determinados obstáculos epistemológicos que dificultan una comprensión progresivamente más compleja del mundo.

El conocimiento de los sucesivos niveles explicativos permite:

- Al diseñador del currículo, utilizarlo como marco de referencia y guía en la organización y secuenciación de los contenidos escolares. Desde este punto de vista, el conocimiento escolar se entiende como un conocimiento organizado y jerarquizado, procesual y relativo, como un sistema de ideas que se reorganiza continuamente a lo largo de la escolarización.
- Al profesor, programar la enseñanza de un contenido según diferentes etapas y aproximaciones sucesivas a una noción determinada. Incluso le permite hacer un diagnóstico más preciso de las dificultades y obstáculos que dificultan la transición de unos niveles a otros.

Esta propuesta no debe entenderse como un planteamiento cerrado e inflexible de la evolución cognoscitiva, pues no creemos que todos los alumnos tengan que seguir inevitablemente el trayecto marcado por los sucesivos niveles explicativos,

sino que éstos tienen un carácter abierto y flexible, y, por tanto admiten diversidad de recorridos formativos. Se trata por tanto de un marco orientador, reformulable, que parte del tratamiento de los obstáculos que dificultan la transición a formas más complejas del conocimiento escolar, y que nos permite tanto interpretar la realidad educativa como intervenir en ella en un determinado momento.

Para justificar este planteamiento estimamos conveniente estructurar este apartado desde los constructos más conocidos para explicar el aprendizaje de los alumnos: los modelos mentales.

A) LAS REPRESENTACIONES MENTALES Y EL APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA

La mente humana es un sistema representacional, es decir un sistema que procesa información, cuya función es representar o “*estar en lugar de*” alguna otra cosa (Pozo Municio, 2003).

Según Moreira (2002) la *representación* es cualquier notación, signo o conjunto de símbolos que representa algo para nosotros que es típicamente algún aspecto del mundo exterior o de nuestro mundo interior (o sea de nuestra imaginación) en su ausencia. Por ejemplo una teoría científica es un sistema representacional, externamente representado por su formulación matemática e internamente representada en la mente de quien la comprende. Otro ejemplo, la palabra muñeca o el dibujo de una muñeca son representaciones externas que nos permiten evocar el objeto muñeca en su ausencia (Moreira y otros, 2004). Evidentemente, cuando hablamos de representaciones mentales, nos referimos a representaciones internas, a maneras de “re-presentar” internamente (es decir, mentalmente), de volver a presentar en nuestras mentes, el mundo externo.

Entre las representaciones mentales, Johnson-Laird (1983 citado en Greca y Moreira, 1998; (Moreira y otros, 2004) identifica tres tipos:

- Las representaciones proposicionales.
- Modelos mentales.
- Imágenes mentales.

A continuación se detallarán algunas características de estas representaciones mentales.

B) REPRESENTACIONES PROPOSICIONALES

Moreira y otros (2004), consideran que las **representaciones proposicionales** son “tipo lenguaje”, pero un lenguaje de la mente, que no es conciente y que se podría llamar “mentalés”. Estas representaciones no están formadas por palabras; sin embargo, captan el contenido abstracto de la mente que estaría expresado en esa especie de lenguaje que es el mentalés. Es decir, por ejemplo la frase: “el libro está sobre la mesa”, no estaría expresada así mentalmente; no obstante, dicha representación es susceptible de ser expresadas verbalmente.

Las representaciones mentales proposicionales son discretas (individuales), están organizadas por reglas de combinación (las reglas del mentalés) y son abstractas, es decir que no se trata de representaciones análogas como un dibujo o una imagen. Así mismo tienen carácter semántico, lo que significa que representan conceptos y relaciones entre ellos (Otero, 1999). Una proposición admite más de una representación posible, por ejemplo, una frase, o un discurso se representan de diferentes maneras en distintas personas y ello, lógicamente, tiene consecuencias en la enseñanza (Moreira y otros, 2004).

C) MODELOS MENTALES

Respecto a los modelos mentales propiamente dichos, como señalan Benarroch (2005) y Gutiérrez (2005) se trata de un concepto cargado de polisemia, con lo que resulta difícil entender qué quieren decir los autores cuando lo utilizan. A pesar de ser utilizado cada vez con mayor frecuencia en los artículos de investigación en didáctica de las ciencias, creemos que se usa con distintas interpretaciones, entre las que se hayan las conocidas preconcepciones y teorías “ingenuas” de los alumnos (Moreira y otros, 2004).

Park y Gittelman (1995) definen a los modelos mentales como constructos hipotéticos para explicar los procesos cognitivos humanos sobre el entendimiento de una realidad externa, trasladando la realidad a una representación interna y utilizándola en la solución de un problema.

Desde la Psicología Cognitiva (Toffler, 1970; Jonson-Laird, 1983, citado en Park y Gittelman, 1995) se definen los modelos mentales como representaciones subjetivas de un estado de cosas, mientras que Jagacinsky y Miller (1978, citado en Park y Gittelman, 1995) los describen como imágenes o modelos internos para organizar y ejecutar actividades. Rumelhart y Ortony (1977, citado en Park y

Gittelman, 1995) son más específicos y los consideran como representaciones simbólicas de conocimiento conceptual existente en la memoria a largo plazo, en diferentes niveles de abstracción. Williams y otros (1983 citado en Park y Gittelman, 1995) describen al modelo mental como un mecanismo cognitivo para predecir o explicar comportamientos de sistemas. Rouse y Morris (1986, citado en Park y Gittelman, 1995) consideran a los modelos mentales como mecanismos según los cuales los humanos pueden generar descripciones de sistemas, explicaciones del funcionamiento de sistemas y descripciones de futuros estados de los mismos.

Para Coll y otros (2006) los modelos mentales son las representaciones personales e idiosincrásicas con las que cada científico, individualmente, piensa acerca del mundo y lo interpreta, en especial en aquellos casos en los que los fenómenos son ajenos a la experiencia sensible.

Según Johnson–Laird, los modelos mentales son modelos que el sujeto construye en la memoria de trabajo para dar cuenta de situaciones nuevas, pero pueden modificar los esquemas de asimilación o pueden evolucionar para esquemas de asimilación (Greca y Moreira, 2002, citado en Moreira y Greca, 2004).

Para Rodrigo y Correa (citado en Pozo y Monereo, 1999) un modelo mental es una representación episódica, dinámica y flexible de la tarea o situación, elaborada a partir de la integración de una parte de la teoría implícita y de las demandas de la situación o de la tarea. Se genera en la memoria a corto plazo y se va modificando a medida que cambian las condiciones de la tarea. Como se puede apreciar, la similitud con el concepto de Jonson-Laird es apreciable.

Según Perales y Jiménez (2002) el término modelo mental se refiere a una representación mental elaborada por las personas cuando interaccionan con su medio, textos, imágenes o combinaciones entre ambos. Así los modelos mentales incluyen datos procedentes del exterior, conocimientos previos, expectativas del sujeto, entre otros, dando lugar a representaciones dinámicas en la memoria de trabajo, que es esa parte de nuestra actividad mental que, conscientemente, presta atención a una situación dada y piensa sobre ella. Es la que se fija en la percepción que ha entrado y trata de otorgarle un sentido (Galagovsky y otros 2003). Esta concepción es similar a lo que Benarroch (1998, 2001, 2005) llama nivel o esquema explicativo.

Por otra parte, Moreira y otros (2004), consideran a los modelos mentales como análogos estructurales de estados de cosas, eventos, u objetos del mundo, por lo

tanto su estructura -y no su aspecto- corresponde (o es análoga) a la estructura de la situación que representan tal como la percibimos. Es decir que, un modelo mental *representa* un estado de cosas, y por lo tanto su estructura no es arbitraria, tal y como lo es la de una representación proposicional (por ejemplo, la frase “el libro está sobre la mesa”, puede referirse a cualquier libro, abierto, cerrado, nuevo, viejo, sobre cualquier mesa, en la medida en que es abstracta y puede representarse de maneras diversas). El libro está sobre la mesa es una proposición y admite distintas representaciones, distintos modelos: libro abierto, libro cerrado, etc.

Del mismo modo que Moreira y otros (2004) se refieren a que los modelos mentales pueden diferir marcadamente en su contenido (pero no en su formato representacional) ya que éste depende de las preguntas que el sujeto quiere responder.

Los modelos mentales se componen de *elementos y relaciones* es decir que se construyen a partir de elementos básicos organizados en una cierta estructura. Esto nos llevaría a lo que Johnson–Laird llama primitivos conceptuales, los cuales serían innatos. Es decir, el ser humano nace con algunos primitivos conceptuales (movimiento, por ejemplo). Además, él supone también la existencia de primitivos procedimentales, los cuales serían igualmente innatos. El hecho de que los primitivos conceptuales y procedimentales sean innatos, no quiere decir que la teoría de Johnson–Laird sea innatista, sino que tiene aspectos innatistas, así como los tienen otras teorías constructivistas. Al final, la construcción humana debe comenzar en algún punto y es difícil imaginar que sea a partir de cero.

Los elementos y relaciones que constituyen los modelos mentales deben tener un papel simbólico. Por ejemplo, si un alumno construye un modelo mental de un péndulo, en este modelo debe haber algún elemento, alguna entidad mental que represente el hilo y otro que represente la masa. Con estos elementos genera un “sustituto” del péndulo. Además deben existir relaciones causales del tipo “si–entonces” que le permitan “ejecutar” el modelo y hacer previsiones respecto al funcionamiento del péndulo (Moreira y otros, 2004).

Además de estos modelos causales, hay otros tipos de modelos mentales, pues las relaciones y los elementos pueden ser de otra naturaleza, por ejemplo, espaciales, temporales o de identidad. Los elementos pueden representar individuos o conceptos, por ejemplo, la proposición “Juan es profesor de Química” implica un

modelo mental en el cual hay un elemento que corresponde a profesor de Química, otro correspondiente al individuo Juan, una relación de identidad Juan = profesor de Química y una de no identidad, pues hay profesores de Química que no se llaman Juan.

Entender cualquier fenómeno natural es saber su causa, poder describir sus consecuencias y predecir sus efectos, de forma que el individuo pueda provocarlo, influenciarlo o evitarlo, o por lo menos, explicarlo. En otras palabras, es tener un modelo mental de ese fenómeno, un modelo de trabajo en nuestras mentes que puede ser mentalmente manipulado, permitiéndonos hacer inferencias.

D) IMÁGENES MENTALES

Desde la Psicología Cognitiva ha costado mucho que las imágenes alcancen la categoría de constructo científico, no obstante actualmente hay bastante consenso acerca de que las imágenes son representaciones analógicas con una similitud estructural con aquello que representan y no meras experiencias subjetivas (Otero, 1999).

Se podría considerar que las imágenes desempeñan un papel central en el pensamiento creativo. Así por ejemplo, las imágenes permitieron a Galileo y Einstein realizar “experimentos mentales” que les proporcionaron los fundamentos conceptuales para sus teorías físicas (Holton, 1972; Shepard, 1978, citados en Otero 1999). La elaboración matemática de la teoría de la relatividad de Einstein fue posterior al proceso de comprensión visual, como él mismo asegura: “mi capacidad, mi destreza particular, reside en visualizar los efectos, consecuencias y posibilidades...” (Holton, 1972, citado en Otero, 1999). La Química es una ciencia visual, pues los químicos han desarrollado una variedad de modelos para representar diversas sustancias (Wu y Shah, 2004). El carácter dinámico y flexible de las imágenes las hace un instrumento idóneo para generar “modelos espaciales” que puedan dar lugar a auténticos descubrimientos.

En cuanto a la naturaleza de las imágenes mentales, hay un debate bastante extendido en el tiempo entre proposicionalistas e imagistas (Kosslyn, 2005; Otero, 1999). La primera de estas posturas, integrada por proposicionalistas y defendida principalmente por Pylyshyn (Kosslyn, 2005; Otero, 1999) argumenta que las imágenes mentales son del mismo tipo que las usadas en el lenguaje (Kosslyn, 2005). Así mismo, consideran que las imágenes son epifenómenos (fenómenos accesorios que acompañan al fenómeno principal y que no tiene influencia sobre él)

y que existe una única forma básica de representación mental: la proposicional (Otero, 1999).

La otra de las posturas, integrada por imagistas y defendida por Kosslyn y Paivio entre otros (Kosslyn, 2005; Otero, 1999) sostiene que las imágenes mentales sirven para representar, y no para describir (Kosslyn, 2005). Consideran que las imágenes son representaciones tipo escena y que son bastante diferentes de las representaciones proposicionales (Otero, 1999).

En resumen, para Pylyshyn (1973, citado en Moreira y otros, 2004) la cognición debe ser analizada exclusivamente en términos de proposiciones y no hay necesidad de considerar las imágenes como un tipo especial de representación mental: todo aquello con lo cual nuestra mente se maneja para pensar, comprender, explicar, recordar, puede ser traducido en el código del lenguaje de la mente. Es decir, las imágenes también serían procesadas en el mentalés. Para otros, por ejemplo Paivio (1971, citado en Moreira y otros, 2004) las imágenes tienen identidad, son un tipo diferente de representación interna, tanto es así que se pueden trasladar y rotar mentalmente. Para éstos, la cognición no puede ser reducida al mentalés, sino que postulan que existen otras clases de informaciones, como las relacionadas con cuestiones geométricas, que necesariamente deberían ser procesadas en otro formato.

Para Kosslyn (1986, citado en Otero, 1999) los argumentos contra la imagen se originan en una concepción equivocada de la “metáfora de la figura”, que considera que las imágenes se perciben como figuras y se almacenan en la memoria, como si fueran una fotografía instantánea (Otero, 1999). Esta concepción de la “metáfora de la figura”, identifica erróneamente la percepción de una representación visual externa, con su codificación y utilización cognitiva en el mismo formato. Por el contrario, las imágenes externas no originarán imágenes mentales necesariamente, percepción e imaginación son procesos diferentes, aunque estén estrechamente relacionados.

Para Otero (1999) en el debate proposicionalistas-imagistas, las proposiciones se consideran apropiadas para representar el conocimiento, porque lo que conocemos del mundo es un conjunto de hechos o afirmaciones que tendrán un valor de verdad. Por el contrario, al considerar a las imágenes como figuras mentales, se concluye su insuficiencia para representar conocimiento sobre el mundo. En realidad, la mera posesión de representaciones formales o analógicas no constituye

conocimiento, porque en ambos casos se requiere de una mente que las interprete. Lo importante es que las imágenes pueden contener información desde la que el conocimiento puede ser derivado.

Según Johnson-Laird (Otero y otros, 2002) las imágenes mentales comparten casi todos los atributos de los modelos, pero a diferencia de ellos, no poseen capacidades explicativas. Así mismo existen muchas relaciones abstractas y no visualizables (causalidad, por ejemplo) que no pueden ser capturadas por una imagen mental y que pueden representarse en un modelo mental.

Las imágenes mentales no poseen un valor de verdad. Es decir, no se puede afirmar que una imagen es verdadera o falsa, adjetivo que sí tienen los otros dos tipos de representación. Imágenes y modelos mentales son específicos, pero mientras las imágenes se corresponden con una única situación, los modelos pueden representar una clase de situaciones (por ejemplo, se puede tener un modelo mental de resorte, en donde el color, el material, el grosor, etc. son variables en principio no determinadas, mientras que la imagen de un resorte en particular, especifica los valores de esas variables) (Otero y otros, 2002).

Para Johnson-Laird las imágenes son producto de la percepción y de la imaginación. Son representaciones mentales concretas, formas de “ver” las cosas, los fenómenos, a las que se recurre para recuperar y captar la esencia de las mismas, cuanto menos, los detalles que han resultado relevantes al sujeto que las construye (Moreira y otros, 2004).

Según Moreira y otros (2004), las imágenes representan aspectos perceptibles de los objetos correspondientes en el mundo real. En un primer momento el autor las consideraba como vistas concretas de un modelo mental subyacente; pero en un trabajo más reciente de 1996, Johnson-Laird revisa esa idea diferenciando las imágenes de los modelos mentales y no considerándolas solamente como vistas de un modelo mental que actúe como sustrato. *“Las imágenes representan cómo algunas cosas son vistas desde el punto de vista de un observador particular” y “Las imágenes visuales ahora parecen ser distintas clases de representación reclamadas por diferentes tipos de procesos”* (Johnson-Laird, 1996, citado en Moreira y otros, 2004; Otero, 2002) y no suponen necesariamente la construcción de un modelo mental explicativo y predictivo del que deriven. Un ejemplo claro puede ser el concepto de célula para el que muchos estudiantes generan una imagen simple, estática de “huevo frito”, que opera en sus mentes de manera

aislada, proposicionalmente, pero a la que no le atribuyen ningún sentido, ningún significado, y su posesión no supone la construcción de un modelo mental subyacente como análogo de lo que una célula es conceptualmente (Moreira y otros, 2004).

Estos autores consideran que las imágenes, así como los modelos mentales, son altamente específicas. Por ejemplo, no se puede formar una imagen de un plano inclinado en general, solo de planos inclinados específicos, también cuando imaginamos un triángulo, lo hacemos de un tipo específico: equilátero, escaleno, isósceles, etc. (Greca y Moreira, 1998), es decir que la especificidad de las imágenes se refiere a que cada sujeto tiene una imagen específica. Sin embargo el modelo subyacente a la imagen, debe contener las relaciones necesarias para definir un triángulo, de manera tal que, si nos fuera pedido que imaginásemos un triángulo escaleno, podríamos hacerlo.

Según Johnson–Laird (Moreira y otros, 2004) algunas personas razonan con imágenes mentales, usándolas en sus modelos mentales, pero no todas y no necesariamente supone una mayor eficacia en los procesos de razonamiento, aunque parece haber indicios de ello.

Las imágenes tienen un formato analógico, es decir que la imagen de un objeto tendrá que parecerse en forma, tamaño y orientación a aquello que se está representando. Las investigaciones de Kosslyn, basadas en esta idea, estudian los procesos que se dan en la memoria activa, que es una memoria operativa en la que se seleccionan, organizan y ejecutan heurísticos de resolución de problemas y toma de decisiones. La generación, recuperación, exploración, interpretación y las transformaciones dinámicas de imágenes se resuelven en la memoria activa (Otero, 1999).

Uno de los modelos, que desde el campo de la Psicología Cognitiva y con datos neurológicos, más contribuciones ha hecho al estudio neuropsicológico de las imágenes mentales, es el modelo del psicólogo Stephen Kosslyn (García y otros, 1999). Este modelo se trata de una teoría de procesos cognitivos basada en modelos de redes computacionales. Este modelo computacional está apoyado en datos neurológicos y neuropsicológicos que parecen apoyar cada uno de los procesos y estrategias que intervienen en la generación, inspección, transformación, etc., de las imágenes (Kosslyn, 1980, citado en García y otros, 1999). Los subsistemas de procesamiento son interpretados por Kosslyn como

redes neuronales encargadas cada una de ellas de funciones relacionadas con las imágenes mentales, pero no exclusivas de ellas (García y otros, 1999).

Para Kosslyn las imágenes mentales son un proceso cognitivo, y como tal, intervienen estructuras y procesos implicados en otros procesos cognitivos (atención, memoria, etc.); por lo que las imágenes están compuestas por diferentes partes y cada una de estas partes es construida por una red neuronal. La imagen mental es la activación del sistema visual no generada por ningún estímulo físico (García y otros, 1999).

E) NUEVAS TENDENCIAS SOBRE APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Términos como modelos mentales, representaciones mentales, esquemas o teorías, son el común denominador entre los nuevos estudiosos del aprendizaje de las ciencias. En palabras de Pozo (1999, citado en Benarroch, 2005): *“Si algo tienen en común los muy diversos modelos teóricos que se sitúan dentro del enfoque cognitivo, es interpretar la conducta, las acciones y las representaciones de las personas en términos de un sistema de representaciones y procesos cuya naturaleza, sin embargo, varía considerablemente de un modelo a otro. Aprender ciencia es también cambiar el tipo de procesos y representaciones desde los que se abordan los problemas y situaciones a los que nos enfrentamos”*.

Benarroch (2005) realiza un análisis de estas propuestas novedosas acerca de cómo se aprende ciencias y pone de manifiesto ciertas analogías entre las cuales mencionamos:

- Las distintas propuestas distinguen entre el plano observacional o exterior al sujeto, que es donde se obtienen las respuestas de los estudiantes e incluso las regularidades de respuestas de los mismos; y el plano no observacional, que es donde se encuentran los esquemas y operadores que generan las respuestas observables. Este plano está representado mediante el modelo cognitivo y es de gran interés para el didacta de las ciencias, ya que es el motor de los cambios o reestructuraciones fuertes en el aprendizaje (Benarroch, 2005).
- Distintos autores consideran distintos niveles de análisis representacional, es decir, distintos niveles de generalidad en la organización cognitiva (Benarroch, 2005). En la tabla 3 se expone la comparación de los distintos niveles de análisis representacional de algunos de los más prestigiosos

investigadores interesados en estudiar y teorizar sobre el aprendizaje de las Ciencias.

En la última columna de la tabla 3, se hace referencia el modelo de Marín y Benarroch (Marín, 1994; Benarroch y Marín, 1997). Es uno de los modelos cognitivos usados para la interpretación de las respuestas de los alumnos, construido desde la investigación sobre la enseñanza aprendizaje de las ciencias experimentales. Concretamente, este modelo cognitivo ha sido utilizado para interpretar las explicaciones de los alumnos sobre situaciones de equilibrio mecánico (Marín, 1994a, citado en Benarroch, 2005) y sobre fenómenos que pueden ser explicados en términos corpusculares (Benarroch, 1998).

COMPARACIÓN DE NIVELES DE ANÁLISIS REPRESENTACIONAL						
PLANOS	NIVELES	CAREY	CHI	VOSNIADOU	POZO	MARÍN Y BENARROCH
Plano Observable	1			Modelos mentales	Respuestas	Niveles explicativos
Plano No Observable	2	Teorías de dominio	Categorías secundarias	Teorías específicas	Teorías de dominio	Esquemas específicos
	3	Principios de creencias	Categorías principales	Teorías estructurales o teorías marco	Teorías implícitas	Esquemas operatorios

Tabla 3. Niveles de organización cognitiva. Tomado de Benarroch (2005)

El modelo cognitivo de Marín y Benarroch, distingue entre el plano observable y el plano no observable.

En el plano no observable, en este modelo, se consideran que hay tres factores de la cognición del alumno que merecen ser destacados por su especial relevancia para entender los datos que se obtienen de las explicaciones del alumno (Benarroch, 2005).

- Por un lado, tal y como se señala en el punto de vista piagetiano, los esquemas operatorios y elementos figurativos puestos en juego a la hora de dar una explicación causal:
 - Los **esquemas operatorios** son responsables, en parte, de la capacidad de transformación de los datos contenidos en las tareas. Se constituyen por abstracción refleja de las coordinaciones de las acciones

y de esquemas más específicos (Benarroch, 1998, 2001, 2005). Son esquemas de razonamiento que permiten transformar los datos y procesarlos.

- Los **elementos figurativos** (percepción, imitación diferida, juego simbólico, el dibujo, la imagen mental, los significantes) son los responsables de la capacidad de asimilación estática de los datos contenidos en la tarea.
- Por otro lado, destacado por el enfoque de las concepciones alternativas, un factor cognoscitivo que determina la dependencia de la respuestas del sujeto del contenido específico involucrado en la tarea.
- Los **esquemas específicos** o esquemas dependientes del contenido son responsables de las propiedades referidas de los objetos (consistencia, inercia, densidad, etc.). Son alcanzados por abstracción simple o empírica de la interacción física del sujeto con su medio, la cual aporta una conceptualización en cierto modo descriptiva de los observables (Benarroch, 1998, 2001, 2005). En otras palabras, son los esquemas que tiene el sujeto relacionados con conocimientos específicos.

De esta manera, cuando se presenta a un alumno una tarea o una situación concreta, procesa los datos percibidos y ofrece, en definitiva, una respuesta. Los encargados de este procesamiento son sus esquemas cognitivos que pueden ser de dos tipos: los esquemas operacionales y los esquemas específicos (Benarroch y Marín 1997, citado en Benarroch, 2001, 2005).

En el plano observable, estos autores sitúan las respuestas de los alumnos y los esquemas explicativos.

- **Respuestas de los alumnos:** constituyen el primer nivel de análisis de representaciones, el más accesible o inmediato. Así, las respuestas se hallan en el nivel cognitivo más superficial y son las reacciones –creencias, predicciones, juicios, interpretaciones- que el sujeto expresa ante una situación problemática (Pozo y Scheuer, 1999, citado en Pozo y Monereo, 1999). Estas representaciones tienen carácter situacional, es decir que son representaciones construidas en respuesta a una demanda específica, sin que necesariamente estén almacenadas de modo permanente o explícito en

el sistema cognitivo del sujeto. Serían modelos mentales situacionales (Pozo y Scheuer, 1999, citado en Pozo y Monereo, 1999). Estas respuestas varían en un continuo entre respuestas significativas y no significativas. Las significativas implican una activación de las estructuras internas, mientras que las no significativas son producto de una activación menor de dichas estructuras y por lo tanto contienen menos información de los esquemas de conocimiento (Benarroch, 2001).

- **Esquemas explicativos:** son las reconstrucciones que el investigador realiza a partir de las respuestas de los alumnos dadas a una diversidad de contextos y situaciones problemáticas sobre el mismo contenido (Benarroch, 2001). En otras palabras, los esquemas explicativos constituyen el modelo mental que el investigador infiere a partir de las reacciones del alumno, es decir a partir de aquello que las personas externalizan simbólica, pictórica o verbalmente.

De acuerdo a las respuestas de los alumnos y los esquemas explicativos elaborados a partir de las mismas, se pueden establecer diferentes **niveles explicativos**, pues los alumnos construyen el conocimiento partiendo de sus representaciones iniciales mediante un proceso de aproximaciones sucesivas, de manera que se llega a un objetivo a través de una serie de pasos, que se corresponden con los diferentes niveles de complejidad.

Cada nivel supone un incremento de complejidad respecto al nivel anterior, ya que en el paso de un nivel a otro la información aumenta y se reorganiza de manera distinta. Además, se constata que hay cierta resistencia a que se produzca dicha transición, por lo que se puede afirmar que el paso de un nivel a otro implica la superación de determinados obstáculos epistemológicos que dificultan una comprensión progresivamente más compleja del mundo (Benarroch, 2005).

El sujeto, en función de su nivel de esquemas operatorios, va evolucionando en su capacidad de transformación de los esquemas específicos. Es decir, es como si los esquemas específicos permitieran que las operaciones mentales actuaran sobre ellos, de modo que la respuesta generada resulta distinta según el nivel de operaciones mentales en que se encuentre el sujeto. En síntesis, los esquemas específicos, sufren una transformación dependiente del desarrollo de esquemas operatorios (Benarroch, 2001). Tanto los esquemas específicos como los esquemas

operatorios son los responsables del producto observable de la cognición del sujeto: sus respuestas verbales, escritas, acciones, dibujos, etc. (Benarroch, 2000).

Haciendo un paralelismo entre el modelo de Marín con los modelos de Vosniadou y Pozo, podemos extraer las siguientes ideas que se exponen a continuación. Vosniadou (1994, citado en Benarroch, 2005) distingue entre modelo mental, teoría específica y teoría estructural o teoría marco, de manera parecida a los esquemas explicativos, esquemas específicos y esquemas operatorios, respectivamente. Pozo y Gómez Crespo (1998, citado en Benarroch, 2005) también hacen lo propio y distinguen entre respuestas, teorías de dominio y teorías implícitas, similarmente a las respuestas, esquemas específicos y esquemas operatorios respectivamente.

Las respuestas que el sujeto brinda sobre las situaciones a las que se enfrenta, forman parte de teorías más amplias, llamadas teorías de dominio en el modelo de Pozo y es en el marco de estas teorías en el que tiene lugar el cambio conceptual (Pozo y Scheuer, 1999, citado en Pozo y Monereo, 1999).

Las teorías de dominio en el modelo de Pozo están formadas por el conjunto de representaciones de diverso tipo activadas por los sujetos en contextos pertenecientes a un dominio dado. Estas representaciones serían más estables que los modelos mentales situacionales, ya que, como producto de la práctica repetida con situaciones similares, las teorías de dominio se hallarían representadas de modo explícito en la memoria permanente del sujeto, en forma de un conjunto de reglas o regularidades a partir de las cuales se constituirían esos modelos mentales situacionales (respuestas) (Pozo y Scheuer, 1999, citado en Pozo y Monereo, 1999).

Las teorías de dominio a su vez, se organizan o se estructuran a partir de una serie de supuestos implícitos, que constituirían una teoría implícita (Pozo y Gómez Crespo, 1998, citado en Benarroch, 2005) o una teoría marco (Vosniadou, 1994, citado en Benarroch, 2005). Estas teorías estarían constituidas a partir de un conjunto de reglas o restricciones en el procesamiento de la información que restringirían no sólo la selección de la información procesada sino, también las relaciones establecidas entre los elementos de esa información. Podríamos decir que estas teorías serían una especie de sistema operativo del funcionamiento cognitivo (Pozo y Scheuer, 1999, citado en Pozo y Monereo, 1999).

3. APORTACIONES TEÓRICAS DESDE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Las imágenes poseen un papel esencial en la comunicación y representan un medio de expresión cotidiano. En el ámbito educativo, existen investigaciones que reconocen la importancia de las imágenes tanto en la comunicación de ideas científicas como en la construcción del conocimiento. De esta manera se hace necesario un abordaje integral de las imágenes externas presentes en los libros de texto, que habitualmente se utilizan en el proceso de enseñanza y aprendizaje, para posteriormente contar con elementos que permitan identificar y analizar qué representaciones internas construyen los estudiantes cuando aprenden ciencias.

En este apartado desarrollaremos los aportes teóricos sobre las imágenes externas desde la Didáctica de las Ciencias. Este apartado está organizado en tres bloques: en el primero, estudiaremos las imágenes desde la semiótica y la psicología, para finalizar con los estudios empíricos sobre las imágenes en los libros de texto de ciencias. En el segundo apartado nos enfocaremos en el papel de las imágenes en la Química y finalizaremos con una descripción de las imágenes de enlace químico en libros de texto. Por último, en el tercer apartado, detallaremos algunas concepciones y dificultades de aprendizaje relacionadas con el enlace químico.

3.1. La importancia de la imagen en la comunicación multimodal

Según Pro (2003), hoy en día la imagen domina la cultura y constituye un medio de expresión por el cual recibimos innumerables comunicaciones y a través del cual podemos expresarnos. De igual modo Pro (2003) sostiene que la imagen ha desbordado los límites de la palabra escrita y se ha convertido en una forma específica de comunicación. De esta manera, el lenguaje visual remite a un vehículo de comunicación que se produce con la intención de emitir conocimiento y aquél que lo reciba, lo comprenda (Otero y Greca, 2004).

En este trabajo emplearemos indistintamente los términos representaciones externas, representaciones visuales, lenguaje visual e imágenes externas. Definamos algunos conceptos importantes:

- ✓ *“El lenguaje visual se constituye en un sistema simbólico de representación, profundamente influenciado por principios que organizan posibilidades de representación y de significación de una cultura dada” (Martins y Gouvêa, 2005).*
- ✓ *“Una imagen, independientemente de su grado de iconicidad o abstracción, es también una forma de representación que sirve para modelizar la realidad” (Iradi, 2004).*
- ✓ *“Una imagen es la representación de seres, objetos o fenómenos, ya sea con un carácter gráfico (en soporte papel o audiovisual, principalmente) o mental (a partir de un proceso de abstracción más o menos complejo” (Perales Palacios, 2006).*

En la segunda mitad del siglo XX, se generalizaron los soportes tecnológicos y los dispositivos que contribuyeron con el auge de la llamada “cultura de la imagen”, trascendida más tarde por la “sociedad de la información” y materializada por medio de las NTIC (nuevas tecnologías de la comunicación y de la información) como por ejemplo, Internet. Estas tecnologías, revitalizaron y multiplicaron la utilización del lenguaje visual en la comunicación (Otero y Greca, 2004) de manera tal que, en esta “cultura de la imagen” (Otero y Greca, 2004) han surgido los llamados textos multimodales (Kress y van Leeuwen, 1996 citado en Farías, 2005) llamados así porque utilizan una amplia gama de modos de representación y comunicación de los mensajes, que incluye imágenes, diagramas, fotografías, diversos formatos de página, colores y diagramaciones específicos que contribuyen en gran medida a la comprensión e interpretación del mensaje transmitido.

Al respecto, García García y Perales Palacios (2006) se refieren a esta gama de representaciones externas como representaciones semióticas, ya que son generadas a través de signos que al agruparse de acuerdo a determinadas reglas, generan representaciones externas acerca de los objetos y los hechos.

Esta amplia variedad de modos de comunicación (Krees y otros, 1998 citado en Márquez y otros, 2003) nos permite pasar de una visión monomodal de la comunicación, centrada en el lenguaje verbal (escrito u oral), a una visión multimodal de la comunicación, basada en la utilización de los diferentes modos semióticos (modo verbal, gestual, visual, entre otros). La interacción entre los diferentes modos, a través de las palabras que se dicen, los diagramas que se dibujan, las fórmulas que se escriben, los experimentos que se realizan, es lo que

hace posible la construcción del significado (Lemke, 1998 citado en Márquez y otros, 2003) como el resultado de un proceso dinámico donde todas las acciones son socialmente compartidas y donde hay una construcción conjunta entre el profesor y los alumnos.

Refiriéndonos específicamente a las representaciones externas (las imágenes) en la enseñanza de las ciencias, acordamos con diversos autores en que ocupan cada vez mayor parte en los materiales didácticos que se proponen y utilizan (Fanaro y otros, 2005a; Lowe, 2000, citado en Guevara y Valdez, 2004). Esta intensificación de las representaciones visuales (representaciones externas) en los libros de texto, respondería a diversas razones, por ejemplo las vinculadas al marketing, al lenguaje visual como requisito comunicacional de la sociedad de la información, entre otros.

Además de las razones de marketing y la adaptación a la “cultura de la imagen” expresada anteriormente, existen creencias en las ventajas del uso de los recursos visuales que integrarían el “imaginario pedagógico” (Otero y otros, 2002). Así es que, en general, los profesores suelen seleccionar los materiales curriculares que emplean en sus clases, teniendo en cuenta la cantidad y calidad visual de las imágenes, pues suponen que este incremento mejora la calidad del aprendizaje. De esta manera, los estudiantes de hoy viven inmersos en la cultura de la información, lleno de representaciones de carácter pictórico lo que hace necesario la reflexión sobre la participación de los códigos visuales en los procesos de comprensión (Farías, 2005). Sin embargo, coincidimos con Jiménez Valladares y Perales Palacios (2001) en que no son muy abundantes las investigaciones que estudian la relación de las imágenes con la educación científica. Una de las razones es “la debilidad de los marcos teóricos existentes” (Jiménez Valladares y Perales Palacios, 2001).

En nuestra investigación nos referiremos a las imágenes didácticas, las que Schnotz (1992, citado en Perales López y Romero Barriga, 2005) define como representaciones visuales en sentido amplio, que sirven como instrumento para presentar conjuntos de datos, ejemplificar conceptos abstractos, organizar información, para integrar nuevo conocimiento en las estructuras existentes, para facilitar la conservación de información y para servir de guía a los procesos de pensamiento y solución de problemas.

En el ámbito educativo, los profesores utilizan en sus clases algún tipo de imagen (imagen didáctica) como apoyo a sus explicaciones en diferentes situaciones. Por ejemplo, durante la exposición de un tema, cuando les proporcionan a los alumnos algún tipo de texto acompañado de una imagen con la intención de reforzar la información contenida en él, en la enseñanza on line, etc. En el primer caso descrito, el profesor (emisor) controla el momento y tiempo de aparición de los códigos cifrados en el mensaje; en los otros dos casos, si bien el profesor no puede ejercer el mismo dominio de la situación, sí puede orientar al alumno sobre la mejor forma de integrar lenguaje e imagen para facilitar el procesamiento de la información (Perales López y Romero Barriga, 2005).

Según Otero y Greca (2004) en las situaciones de enseñanza-aprendizaje, estas imágenes didácticas generalmente se consideran un medio de expresión y quien las lee puede interpretarlas en otro sentido, diferente al sentido del comunicador. El problema se complica aún más, si se toma en cuenta que, tanto para lo figurativo como para lo verbal, no es suficiente describir las unidades semióticas que organizan un discurso, esperando que una codificación “correcta” asegure una comprensión adecuada. La comunicación es una interacción de intenciones y de significados.

Por su parte Perales López y Romero Barriga (2005) consideran que, para que pueda darse comunicación entre emisor (profesor) y receptor (alumno), ambos deben compartir el mismo lenguaje. Estos autores sostienen que, cuando se utiliza la imagen didáctica acompañada de un texto o narración oral (entendida ésta como cualquier tipo de exposición oral que vaya acompañada de una imagen adjunta, ya sea exposición en vivo, como por ejemplo en una clase, o grabada, como en una presentación multimedia por ordenador) implica el uso de dos lenguajes autónomos entre sí, e independientes de otros tipos de expresiones.

Según Perales López y Romero Barriga (2005) todos los lenguajes poseen sistemas de significado y, en las imágenes didácticas estos sistemas de significado vienen dados por una serie de códigos que son propios del lenguaje visual. Por lo tanto, la interpretación que el lector hace de la imagen supone, además de la percepción, una competencia lingüística diferente a la que tiene para la textual.

De acuerdo con esto, Pro (2003) sostiene que el profesor debe ofrecer a sus alumnos recursos para que pueda “leer” y “expresarse” a través del lenguaje visual.

Así, la lectura de la imagen consiste en la decodificación y comprensión de la misma.

De lo expuesto anteriormente, deducimos que la comunicación mediante imágenes es un proceso de resultado incierto. Las imágenes no son sencillas y transparentes, sino que desbordan de sentido, están llenas de alusiones, a veces cargadas de ambigüedad y en consecuencia, permiten múltiples lecturas y no sólo una (Perales y Jiménez, 2002; Otero y Greca, 2004).

Asimismo, acordamos con Perales Palacios (2006), que es muy complejo intentar entender el papel que la imagen desempeña en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Para tal fin, este autor se apoya en referentes procedentes de diversos campos de conocimiento. Por ejemplo, las preguntas relacionadas con ¿qué signos emplea el lenguaje, qué reglas los rigen, qué significado poseen? remiten a la SEMIÓTICA. Las relacionadas con ¿cómo se procesan las imágenes? ¿cómo contribuyen a la formación de modelos mentales? ¿cómo pueden ayudar a una mejor comprensión del contenido que representan? remiten a la PSICOLOGÍA. Y ¿qué imágenes utilizan la sociedad, los profesores, los alumnos, los libros de texto en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias? ¿cómo pueden ser valoradas y mejoradas? ¿cómo contribuyen a la representación del conocimiento científico? remiten a la DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES.

A continuación desarrollaremos algunos de estos aspectos.

A) LAS IMÁGENES DESDE LA SEMIÓTICA

Perales Palacios (2006) considera a la semiótica como la “ciencia general de los signos lingüísticos” y abarca la semántica (relativo al significado de las palabras) y la sintáctica (que estudia la coordinación de las palabras en las oraciones). La semiótica incluye los signos, símbolos y reglas establecidas como características que influyen en la enseñanza y el aprendizaje.

Este autor establece las diferencias en torno a la semántica y la sintaxis, para el lenguaje verbal y el visual. En el lenguaje verbal, las relaciones entre los signos (palabras o sonidos) y su significado (semántica) son arbitrarias; en cuanto a la sintaxis, se compone de reglas aproximadamente fijas. Por otra parte, para el lenguaje visual, el significado se suele establecer por analogía con elementos reales conocidos, aunque no siempre sucede así, como por ejemplo en las

representaciones abstractas del arte no figurativo. En cuanto a su sintaxis, es mucho más flexible que en el lenguaje verbal.

García García y Perales Palacios (2006), se refieren a los sistemas de representación externa tales como: la escritura, las gráficas, los diagramas, los símbolos, los signos matemáticos, las ecuaciones, ilustraciones, etc. como sistemas constituidos por grupos de signos que al agruparse de acuerdo a determinadas reglas, generan representaciones externas acerca de los objetos y los hechos. Dado que estas representaciones externas pueden ser comunicadas y compartidas por los sujetos, se dice que son de carácter semiótico.

Como sabemos, la ciencia utiliza, para construir y comunicar los conceptos, representaciones semióticas externas (que usan sistemas de signos); por lo tanto el aprendizaje de los conceptos científicos está ligado al de estas representaciones y al de sus procesos de formación y transformación (García García y Perales Palacios, 2005; 2006). Al respecto Duval (1999, citado en García García y Perales Palacios, 2006) considera que existen tres actividades cognitivas relacionadas con los sistemas de representación externa (semióticos):

- La formación de representaciones semióticas: consiste en seleccionar un conjunto de signos dentro de un sistema semiótico, para representar las características principales de un objeto.
- El tratamiento de las representaciones: consiste en transformarlas en otras representaciones que están expresadas en el mismo sistema semiótico. Por ejemplo cuando se responde a una pregunta o se soluciona un problema.
- La conversión de las representaciones: implica la transformación de una representación en otra, que está expresada en un sistema semiótico diferente. Por ejemplo, la traducción, la ilustración, la interpretación, etc. En el ámbito de la Química en particular, existen estudios que revelan las dificultades de los estudiantes para realizar conversiones entre fórmulas químicas, configuración electrónica y modelo de bolas y varillas (Keig y Rubba, 1993, citado en Wu y Shah, 2004; Han y Roth, 2005).

Según Duval (1999, citado en García García y Perales Palacios, 2006) la enseñanza generalmente deja de lado la conversión de las representaciones o bien privilegia una representación semiótica frente a otras. En estos casos, los conocimientos aprendidos quedan limitados a dicho registro y como consecuencia,

no pueden ser transferidos para ser usados en otro contexto que incluya representaciones semióticas diferentes. Por el contrario, un aprendizaje centrado en la conversión de las representaciones produce una comprensión efectiva e integradora, que posibilita la transferencia de los conocimientos aprendidos y genera resultados positivos (Egret, 1989; Duval, 1991, citado en García García y Perales Palacios, 2006).

En el ámbito de la enseñanza, los estudiantes suelen enfrentarse a ciertas dificultades referidas a la utilización y comprensión de las representaciones semióticas. Entre ellas podemos citar:

- Generalmente no comprenden su naturaleza mediática y metafórica (Galagovsky y Adúriz - Bravo, 2001).
- Cuando analizan varias representaciones se centran en una sola de ellas: la más familiar y concreta, y en sus características superficiales, no las relevantes conceptualmente (Seufert, 2003; Lowe, 1996, citado en García García y Perales Palacios, 2006). Un ejemplo lo constituye cuando el alumno se enfrenta a diferentes modelos para representar una molécula: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas que especifica los enlaces entre los átomos. Si el alumno tiene que representar con bolas y varillas la molécula, en muchos casos lo hace según la fórmula molecular (que le es más familiar) y no según el diagrama de rayas que muestra los enlaces entre los átomos. Así si tiene que representar la molécula de oxígeno lo hace con 2 bolas unidas por una varilla y no con 2 varillas.

García García y Perales Palacios (2006) realizaron una investigación sobre el uso de las diferentes representaciones semióticas que un grupo de profesores de química hace en sus clases. La investigación muestra que los diagramas y los enunciados son las representaciones más usadas y, por el contrario las gráficas cartesianas son las menos usadas, con lo cual, los alumnos tienen pocas oportunidades de trabajar con ellas. Por otro lado, según el nivel educativo, a medida que éste aumenta, también aumenta la preferencia por el uso de representaciones no gráficas como enunciados y ecuaciones; y disminuye la preferencia por la utilización de representaciones gráficas como diagramas y gráficos cartesianos. Finalmente, el estudio muestra que los profesores realizan pocas actividades de conversión entre representaciones no congruentes, por ejemplo la conversión de las representaciones gráficas cartesianas en expresiones

algebraicas o en enunciados, lo que permite afirmar que sus estudiantes no tienen la oportunidad de entrenarse en este tipo de actividades y pueden presentar una incapacidad funcional para llevarlas a cabo.

B) LAS IMÁGENES DESDE LA PSICOLOGÍA POPULAR Y LA PSICOLOGÍA COGNITIVA

Existe un consenso entre los profesores basado en la tradición de que las imágenes facilitan el aprendizaje. Según estudios realizados, existen algunas concepciones de “psicología popular” acerca de la imagen (Otero y Greca, 2004; Perales Palacios y Jiménez Valladares, 2004; Fanaro y otros, 2005a). Tales concepciones subyacen al uso pedagógico de la imagen en los libros de texto y quizás también en el trabajo del aula. Las concepciones se detallan a continuación:

- Habría una relación directa entre imágenes externas e internas.
- Las imágenes serían más “sencillas” que las palabras y se recordarían y comprenderían más fácilmente.
- Las imágenes son transparentes, “auto evidentes”, entonces no necesitan explicación ni decodificación.
- Las imágenes representan conocimiento “verdadero”.
- Las imágenes externas son más adecuadas para los niveles iniciales de la escolaridad (aún para secundaria) porque se comprenden mejor que las palabras.
- Las imágenes internas serían como “fotos en la cabeza” y se “guardan como tales”.

Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004) detallan otras ideas de la psicología popular:

- Las ilustraciones motivan a los estudiantes y los animan a utilizar los libros de textos. Esto tiene que ver con la creencia de que un libro más “agradable visualmente” se lee con más interés y, como resultado mejora la atención y aumenta el aprendizaje. Sin embargo, las evidencias encontradas al respecto muestran que si bien es cierto que a todos nos agradan las imágenes, la atención conseguida es momentánea y no va dirigida necesariamente hacia la comprensión o reflexión sobre el contenido. Es cierto que un diseño llamativo puede mejorar la atención y luego el

aprendizaje, pero si se dan otros factores. En este sentido, existen opiniones encontradas entre los diversos autores, por ejemplo:

En este aspecto, Lewalter (2003) sostiene que las ilustraciones incluidas en los libros de texto, tienen frecuentemente la función de hacer el proceso de aprendizaje más efectivo. Según este autor, un gran número de estudios han corroborado que la función de apoyo de las ilustraciones en los libros de texto, han resultado bajo ciertas condiciones, por ejemplo cuando los estudiantes establecen conexiones entre sus representaciones mentales del material verbal, visual y sus conocimientos previos. En este caso, el aprendizaje se ve favorecido.

Por su parte Monge Miguel (1992, citado en Pro, 2003) refiriéndose a la función cognitiva de las ilustraciones en los libros de texto, consideran que las imágenes pueden facilitar el aprendizaje de la información contenida en el texto, ya sea mejorando la comprensión de esta información y aportando más información que aquella indicada verbalmente.

Así mismo otros autores (Levie y Lentz, 1982; Levin y otros, 1987, citado en Schnotz y Bannert, 2003) sostienen que la información verbal es recordada mejor que cuando está ilustrada con imágenes que cuando no lo está.

Por otro lado, Jiménez Valladares y Perales Palacios (2001) consideran que si bien estudios realizados (Levie y Lentz, 1982 citado en Jiménez Valladares y Perales Palacios, 2001) recogen evidencias de que las imágenes tienen un efecto positivo sobre el aprendizaje, éste es muy específico y por lo tanto, no cabe atribuirle valor universal. Investigaciones posteriores (Mayer y Gallini, 1990; Mayer, 1994; Mayer y otros, 1996, citado en Jiménez Valladares y Perales Palacios, 2001) han corroborado la especificidad de la ayuda de las imágenes en los libros de texto y consecuentemente, han descartado algunos de los mitos populares, como por ejemplo: la idea de que los libros ilustrados aumentan la motivación hacia el estudio (Levie y Lentz, 1982 citado en Jiménez Valladares y Perales Palacios, 2001) y de que son una buena ayuda para los alumnos menos dotados intelectualmente (Mc Daniel y Waddill, 1994, citado en Jiménez Valladares y Perales Palacios, 2002).

- Las imágenes ayudan a los estudiantes menos dotados intelectualmente. En este caso está presente el convencimiento de que las imágenes “entran por

los ojos” y son fáciles de procesar en comparación con el discurso verbal. La imagen constituiría una especie de “banda ancha” de la transmisión de la información, por lo que se postula que facilitan el aprendizaje de los estudiantes menos dotados intelectualmente. Las investigaciones realizadas, muestran que la capacidad de comprensión de imágenes y de textos no están relacionadas mecánicamente, por lo que es posible que unos estudiantes construyan una representación mental adecuada de un texto sin necesidad de la imagen correspondiente (Gyselinck y Tardieu, 1994 citado en Perales Palacios y Jiménez Valladares, 2004) y, de otro modo, que estudiantes con menor capacidad de comprensión verbal tampoco puedan beneficiarse de las imágenes (Schnotz, 1993 citado en Perales Palacios y Jiménez Valladares, 2004).

- La seducción de lo pictórico que ha adquirido un gran desarrollo en los mensajes publicitarios, donde la imagen se utiliza como una fundamentación evidente, indiscutible. En este caso, el impacto de la imagen procede de ver como evidente lo que no es (Jiménez Valladares y Perales Palacios (2001).
- Mejoran la comprensión de procesos complejos al dar una imagen de “conjunto”. De acuerdo con esta creencia, las imágenes permiten establecer múltiples relaciones entre conceptos y, la visión de “conjunto” podría ser incorporada por los alumnos a modo de “modelo mental” de la información presentada en la ilustración. Según investigaciones esto se da siempre y cuando se presenten una serie de condiciones: (a) que los estudiantes posean un cierto conocimiento inicial acerca del tema, (b) que las ilustraciones muestren relaciones de causa–efecto, (c) que las ilustraciones incluyan etiquetas verbales que dirijan la lectura de la imagen y muestren las relaciones causa–efecto.

Según Otero y Greca (2004) de los supuestos anteriores se derivarían los usos tradicionales de la imagen, apoyados en la idea de que emplear imágenes mejora la comprensión y el rendimiento de los estudiantes, tal como surge del análisis de los textos escolares.

Del mismo modo, parece que quienes diseñan y venden los libros de texto escolares también adhieren a estas ideas difundidas referidas a las ventajas y bondades del uso de representaciones de carácter pictórico para mejorar el aprendizaje, como por ejemplo: reducir la abstracción de los conceptos científicos,

facilitar la comprensión, mejorar el recuerdo, promover la imaginación, motivar al lector, introducir los fenómenos científicos de una forma vinculada a la vida cotidiana (Otero y Greca, 2004 citado en Fanaro y otros, 2005a).

Las concepciones de “psicología popular” (creencias difundidas) citadas anteriormente están fundamentadas en cierta forma en la “metáfora de la figura en la cabeza” que concibe a las imágenes externas como evidentes, transparentes y más sencillas que otras formas de representación de manera tal que se identifica erróneamente la percepción de una representación visual externa, con su codificación y utilización cognitiva en el mismo formato (Otero y Greca, 2004). Dicho de otro modo, la seguridad de que las imágenes que percibimos se “instalan” en nuestro cerebro como un modelo mental de la realidad (Perales Palacios y Jiménez Valladares, 2004) y el estudiante deviene así en un ser pasivo y permeable, listo para ser “informado” a través de la imagen.

Sin embargo, las investigaciones provenientes de la Psicología Cognitiva muestran resultados no demasiados compatibles con las concepciones de “psicología popular” citadas anteriormente. Estas investigaciones indican que las imágenes externas no originarían necesariamente imágenes mentales; percepción e imaginación son consideradas así procesos diferentes, aunque estén estrechamente relacionados.

Precisamente, Kosslyn (2005) describe la diferencia entre la percepción visual y la imagen visual mental. La **percepción visual** ocurre cuando un estímulo (input) llega a la vista e incluye el reconocimiento de ese estímulo y la identificación, es decir el nombre o cualquier información asociada con el objeto. En la percepción visual, intervienen dos mecanismos: el bottom up, que es el mecanismo manejado por la entrada (input) proveniente de los ojos; y en contraste, el top down, mecanismo que hace uso de la información reservada, tal como el conocimiento, las expectativas, las creencias y las metas. Es decir que la percepción depende del ambiente (Otero, 1999; Kosslyn, 2005). En cambio la **imagen visual mental** es la representación que uno mismo construye en ausencia de información de entrada (sin input) por ejemplo, imaginar una descripción verbalmente presentada (McConnell y Quinn, 2003). En este caso, la información proviene de los eventos internos y producen la experiencia (Kosslyn, 2005). Es decir que las imágenes visuales que las personas construyen, tienen carácter transformador y, a diferencia de la percepción visual, es claramente constructivo (Otero, 1999). En este aspecto,

una imagen visual puede ser definida como la representación que uno mismo genera sin seguir la entrada de información visual (McConnell y Quinn, 2003).

La comprensión e interpretación de representaciones externas verbales o icónicas, es fruto de un complejo proceso que supone la representación interna de la información externa de manera personal, constructiva, integrando tanto representaciones de carácter semántico como analógico. (Fanaro y otros, 2005b).

A partir de lo expuesto, como así también de diversas investigaciones (Kosslyn, 1986, 1996; Johnson–Laird, 1983, 1996, citados en Otero y otros, 2002) podemos expresar que el sistema cognitivo desarrolla un proceso interpretativo de las imágenes externas, que comienza con la percepción, pero “mirar” una imagen no implica que será “almacenada” directamente en nuestra mente. La imagen como representación externa, entra en relación con la estructura cognitiva del sujeto, afectando la construcción y / o modificación de sus representaciones mentales (Otero y otros, 2002).

Para interpretar y entender el discurso visual y verbal, se construye una representación mental en la memoria de trabajo, a partir de la interacción entre representaciones internas y externas se desarrolla un proceso interpretativo de naturaleza estratégica. Desde el punto de vista cognitivo, los procesos estratégicos difieren de aquellos basados en reglas y algoritmos (van Dijt, 1992; Norman y Rumelhart, 1975, citado en Otero y otros, 2002) en que estos últimos garantizan el éxito, en la medida en que las reglas que se van a usar sean correctas y se apliquen de manera adecuada.

Hemos llegado a un punto en nuestro desarrollo teórico, en el que es oportuno preguntarnos ¿qué podemos esperar de las ilustraciones? Según Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004) la respuesta no es sencilla y en primer lugar hay que considerar que las imágenes, como cualquier otro símbolo, no significan nada en sí mismas. Son las personas las que interpretan las imágenes en función de sus necesidades de información, sus estrategias para procesar dicha información, sus conocimientos previos, su capacidad y su determinación.

Al respecto, Weidenmann (1988, citado en Lewalter, 2003) argumenta que el proceso cognitivo de las imágenes no es tan fácil como frecuentemente se supone. De ahí que según estudios realizados (Mayer, 1994; Weidenmann, 1988, citado en Lewalter, 2003) han demostrado que los alumnos suelen tener dificultades tanto en

establecer conexiones entre la información textual y visual como para identificar información relevante presentada en una ilustración.

Sin embargo, en la teoría de aprendizaje de multimedia de textos e imágenes presentada por Mayer (1994, 2003, citado en Lewalter, 2003), éste postula que cuando los aprendices construyen conexiones entre sus representaciones mentales desarrolladas del material visual y de sus representaciones mentales desarrolladas del material verbal, junto a sus conocimientos previos, el aprendizaje, se favorece.

Con respecto al procesamiento de la información verbal y no verbal, Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004) nos explican que la información contenida en las imágenes se procesa de un modo diferente a la verbal, ya que esta última se procesa secuencialmente, mientras que el contenido informativo de las imágenes es polisémico, es decir que a una misma imagen se le pueden proporcionar diversos significados, por lo que resultará difícil predecir cuál va a ser la interpretación que va a realizar quien la vea.

Existen diversos modelos que tratan de explicar los mecanismos que dicho procesamiento conlleva. En el siguiente apartado, se desarrollarán algunos aspectos de la Teoría de la Codificación Dual de Allan Paivio.

C) EL PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES. TEORÍA DE LA CODIFICACIÓN DUAL DE ALLAN PAIVIO

Allan Paivio, psicólogo canadiense, analiza los procesos de cognición y plantea la Teoría de la Codificación Dual (TCD). Originalmente Paivio se refirió a “representaciones verbales” y “representaciones imagísticas” (Paivio, 1971, citado en Paivio, 1991), pero más tarde (Paivio, 1978, citado en Paivio, 1991) adoptó los términos “logogen” (generador de palabra) e “imagen” (generador de imagen).

La cognición se nutre tanto de procesos verbales y no verbales y esta teoría parte del supuesto que dentro del sistema cognitivo, aparecen dos sistemas, uno verbal y otro no verbal, diferenciados por su capacidad de percepción y representación de objetos por eso esta teoría se conoce como teoría de codificación dual (TCD) (Ávila López, 2001; Greca, 2000).

Esta teoría considera que la información verbal y la información gráfica son procesadas en diferentes sistemas cognitivos de procesamiento de la información: un sistema verbal y un sistema no verbal (sistema visual) como se muestra en figura 4 y que se describen a continuación.

El **sistema verbal** es el que procesa y decodifica todo aquel conocimiento que se expresa con palabras y oraciones (Schnotz y Bannert, 2003) es decir que es el sistema especializado para tratar directamente con el lenguaje (Paivio, 2006). Los entes, las unidades de este sistema se denominan “logogens” (Schnotz y Bannert, 2003; Ávila López, 2001; Greca, 2000, 2005).

Para Clark y Paivio (1991) el sistema verbal contiene códigos verbales específicos, por ejemplo, representaciones para palabras como: libro, texto, escuela, maestro, aprender, estrategias, matemática. Estas palabras son símbolos que denotan objetos y eventos concretos y también ideas abstractas. Por ejemplo las palabras en inglés “book” y “text” y la palabra en francés “livre” son distintas formas de etiquetar el mismo objeto.

Los códigos verbales (palabras) conservan su identidad, esto es, una palabra como “livre” puede ser conectada asociativamente al inglés como la traducción de “book” e incluida en la oración: “livre es la traducción francesa de book”; pero las palabras siguen siendo entidades separadas.

Por otro lado, el **sistema no verbal**: es el que está especializado para tratar con objetos y eventos no verbales (Paivio, 2006; Ávila López, 2001). Es decir que es el sistema donde se procesan y decodifican las imágenes el conocimiento que podemos llamar perceptual, como tamaño, forma, distancia y su modo de representación es a través de las imágenes analógicas (Schnotz y Bannert, 2003; Greca, 2000, 2005).

Este sistema también se conoce como el sistema de formación de imágenes (imagery system) (Ávila López, 2001) debido a que sus funciones incluyen la generación y el análisis de imágenes mentales en sus diversas modalidades derivadas, como acabamos de decir, de los sentidos (visual, auditivo, etc.). En este sentido Clark y Paivio (1991) sostienen que las representaciones no verbales incluyen imágenes específicas de formas (por ejemplo un modelo químico), sonidos del ambiente (por ejemplo sonido de una campana), acciones (por ejemplo dibujar), o aspectos que se refieren a emociones (por ejemplo fruncir el ceño), entre otros. Estas representaciones son análogos similares a los eventos que representan. Esto es, la imagen mental de “libro” tiene cualidades visuales, táctiles y otras derivadas de la percepción, similares a las evocadas.

De manera similar, las imágenes mentales son evocadas mediante palabras o frases con carga emocional, por ejemplo “odio matemática”, “me gusta el profesor

de dibujo” y estas palabras o frases tienen propiedades similares a aquello experimentado cuando se está en presencia de ese objeto (Clark y Paivio, 1991).

Con respecto a las propiedades estructurales y funcionales de ambos sistemas, detallamos los siguientes:

1. Conexiones entre el sistema verbal y el sistema no verbal. Los sistemas verbales y no verbales están separados pero interconectados y pueden funcionar de forma independiente, o a través de una red de interconexiones. Las conexiones entre ambos sistemas se denominan “conexiones referenciales” y unen imágenes y logogens permitiendo que las imágenes sean nombradas y que los nombres evoquen imágenes. De este modo, un concepto representado por una imagen puede convertirse en una etiqueta verbal del otro y viceversa como se muestra en la figura 4 (Greca, 2000; Paivio, 1991; Ávila López, 2001). Por ejemplo la palabra “escuela” puede evocar imágenes agradables o no, depende de la experiencia de cada uno; también colocar nombres a objetos, etiquetarlos (Paivio, 1991). Al respecto Greca (2000) se refiere diciendo que para Paivio la activación de los sistemas depende del estímulo presentado. Cuando se presenta una imagen en general la acompañamos automáticamente de la palabra que la representa, por lo tanto ambos sistemas se activarán y se facilitará el recuerdo. En el extremo opuesto, podemos ubicar palabras abstractas como por ejemplo: paz, libertad, cuya codificación en forma de imágenes es nula. Mientras más concreta sea la palabra, más fácil será la codificación en ambos sistemas y por lo tanto su recuerdo.
2. Conexiones dentro de un mismo sistema. Son las conexiones que unen representaciones dentro de los sistemas verbal (entre logogens, palabras asociadas) y no verbal (entre imágenes, un objeto evoca a otro). Estos enlaces se denominan “conexiones asociativas” (Paivio, 1991; Clark y Paivio, 1991).

En el sistema verbal las palabras son unidas, relacionadas a otras palabras, tal es el caso de conexiones entre ejemplos, así las palabras oro, hierro, plomo se relacionan a la categoría metal; otro ejemplo, profesora y alumnos aplicando la técnica de lluvia de estrellas al comenzar un tema.

En el sistema no verbal, las conexiones asociativas unen imágenes a otras imágenes, tal es el caso de la imagen de un mechero de bunsen que se

asocia con imágenes de otros elementos de un laboratorio, con imágenes olfativas de algún gas, etc. (Clark y Paivio, 1991).

3. Procesos de organización y transformación. Los procesos verbales y no verbales organizan y transforman la información de manera diferente (Paivio, 1991). El sistema verbal genera estructuras secuenciales de diferentes niveles de complejidad, por ejemplo, oraciones, frases. Las representaciones verbales son procesadas en forma secuencial, así en el ejemplo que citábamos anteriormente: “livre es la traducción francesa de book” significa atender sucesivamente a las palabras; del mismo modo la descripción verbal de alguna escena, implica una descripción secuencial (Clark y Paivio 1991).

En contraste, en el sistema no verbal, las transformaciones incluyen rotaciones mentales, cambio de tamaño, forma, color, etc. (Paivio, 1991). Las imágenes mentales pueden tener transformaciones espaciales dinámicas, que no son posibles con las representaciones verbales. Esto es, los estudiantes pueden visualizar la rotación de un modelo químico, el efecto de la inclinación de un recipiente con líquido, etc. Operaciones análogas dentro del sistema verbal, no son posibles (Clark y Paivio, 1991)

De acuerdo con la Teoría de Paivio de codificación dual, Mayer y otros (1995, citado en Iding, 1997) desarrollaron una teoría que incorpora elementos de la teoría de Paivio. Esta teoría sostiene que el aprendizaje desde los textos implica tres procesos: selección de la información, la organización de la misma en modelos mentales y la integración de esa información. Estos autores suponen que los sujetos pueden establecer conexiones entre la información presentada en los dos modos si las representaciones correspondientes a texto e imagen son activadas al mismo tiempo. Esto se puede facilitar presentando ilustraciones y texto juntos, en la misma página.

Así mismo, incluir en los textos científicos preguntas apropiadas que acompañen a la ilustración y animen, estimulen a los lectores al procesamiento de la información ilustrada, pueden facilitar a los alumnos el procesamiento de la información (Perring y Kintsch, 1985 citado en Iding, 1997).

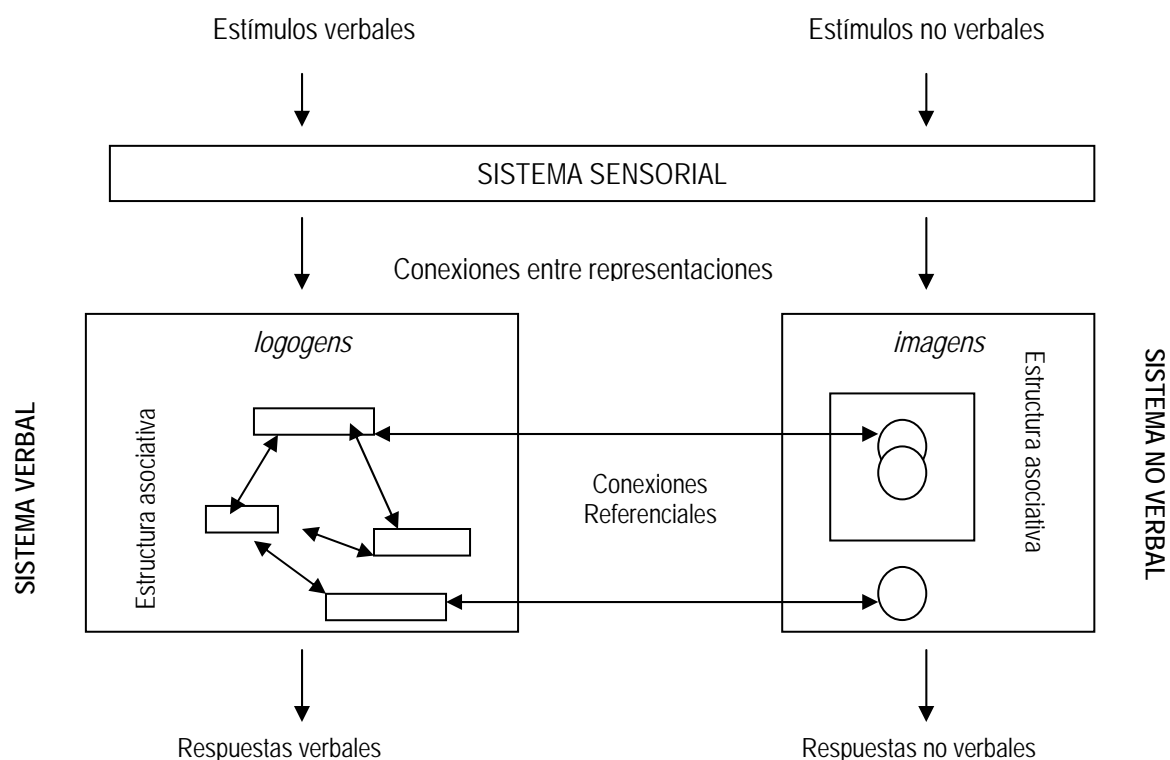


Figura 4. Representación esquemática de la estructura de los sistemas verbal y no verbal. Tomado de Clark y Paivio (1991).

D) ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LAS IMÁGENES EN LOS LIBROS DE TEXTO DE CIENCIAS

En el ámbito de la ciencia, no cabe duda la importancia de las representaciones pictóricas como modelos que facilitan la descripción, la explicación y la predicción de fenómenos naturales. Desde la perspectiva de la explicación, las representaciones pictóricas pueden ser de gran ayuda con tal de que definan claramente las relaciones entre la realidad que se pretende explicar, los modelos conceptuales elaborados al efecto y los símbolos elegidos.

Estamos de acuerdo con Perales Palacios (2006) en que hay escasez de referencias bibliográficas referidas al papel de las imágenes en la enseñanza-aprendizaje, en general, y al trabajo con imágenes en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias en particular.

Dada la mencionada escasez bibliográfica, vamos a proceder, a presentar una revisión sobre investigaciones realizadas por diferentes autores.

Jiménez Valladares y Perales Palacios (2001) analizan la inclusión de las imágenes en la estructura didáctica de los libros de texto. En un trabajo posterior (Perales y Jiménez, 2002), exponen diferentes situaciones que manifiestan un uso inadecuado de las ilustraciones en libros de texto de Física y Química de secundaria, pues analizan casos donde se utilizan imágenes como argumentos visuales para convencer a los lectores de la verdad de lo expuesto por ellos. En muchos casos, esta argumentación visual es abusiva, ambigua o errónea. Al respecto, Pérez de Eulate y otros (1999) manifiestan que hay estudios que han mostrado que los libros de texto pueden ser transmisores de errores en ciencias experimentales y algunas veces han resaltado el papel de las imágenes en este proceso.

Además, Perales y Jiménez (2002) presentan una taxonomía para la categorización de las ilustraciones en libros de ciencias, taxonomía en la cual nos hemos basado para hacer el análisis de las imágenes de enlace químico en los libros de texto de educación secundaria y universidad. También Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004) abordan diferentes aspectos de las ilustraciones tales como algunos equívocos de la psicología popular respecto a las imágenes, algunos fundamentos teóricos sobre el procesamiento de la información visual, y una propuesta taxonómica para la valoración de las ilustraciones.

Por su parte, González Álvarez (2005) analiza algunas características de las imágenes (factor estético, factor informativo y factor emocional) como así también las limitaciones de las mismas para comunicar las ideas científicas; finalmente propone algunas sugerencias para la selección y secuenciación de las imágenes que son importantes tener en cuenta al elaborar o seleccionar materiales de aprendizaje en ciencias.

En cuanto a la presencia de las gráficas cartesianas en los libros de texto, García García (2005) realizó un estudio con el objeto de determinar el uso que los autores de los libros de texto dan a las gráficas cartesianas y comparar este uso con la cantidad de información presente dentro y fuera de las mismas. El trabajo lo realizaron con una muestra de 15 libros del nivel bachillerato en España. Algunos resultados encontrados permiten establecer que las gráficas cartesianas presenta un uso limitado, es decir que se hace un reducido uso de ellas para plantear problemas y como herramienta dentro de procesos experimentales. Como consecuencia, los estudiantes ven estas gráficas como productos acabados, más que como el fruto de una actividad científica en la que no se separan la teoría, las

prácticas, la resolución de problemas, etc. Este uso limitado sólo a la exposición de hechos, no ofrece oportunidades para que los estudiantes puedan realizar prácticas de interpretación. Por otro lado, el volumen de información que se presenta tanto dentro como fuera de las representaciones cartesianas, está influido por el uso didáctico o científico que los autores les asignan en el texto.

Diez Escribano y Caballero Sahelices (2004) presentan el estudio realizado sobre imágenes de gen y cromosoma presentes en 16 libros de texto y guías de trabajo práctico de laboratorio empleados para la enseñanza de Biología, en tres niveles del sistema educativo venezolano. La primera fase de este estudio consideró las características generales de las imágenes externas, la relación entre las mismas y la información verbal, y las características formales de los libros de texto y guías de trabajo práctico de laboratorio. Algunos de los resultados indican, en cuanto al tipo de imágenes, la mayor frecuencia de empleo de las realistas y esquemáticas; asimismo, coincidiendo con otros resultados de trabajos anteriores, se concluye que las imágenes se utilizan para atraer la atención, motivar, ilustrar el contenido y mostrar hechos o procedimientos específicos. También se incluyen imágenes para complementar la información verbal, es decir, están subordinadas al texto escrito, son descritas, referidas, mencionadas, etc.

Siguiendo en el ámbito de la Biología, Pérez de Eulate y otros (1999) realizan un estudio sobre las imágenes de digestión y excreción presentes en una muestra de libros de educación primaria, pertenecientes a las seis editoriales de mayor difusión. Estos autores tienen en cuenta las siguientes características de las imágenes: el grado de iconicidad, la ubicación espacial de los objetos, la orientación de las formas en el espacio, el color, los detalles ampliados, las secciones gráficas, la secuencia de las imágenes, y otros grafismos. Así mismo reparan en la relación de las imágenes con el texto escrito y, en concreto con los rótulos acompañantes de las imágenes. Por otra parte, analizan las aportaciones realizadas por otros investigadores respecto a la posible relación entre las ideas previas de los estudiantes y el uso de las imágenes en Biología en general y en las referidas a digestión y a excreción. Todos estos trabajos manifiestan que frecuentemente se hace un uso inadecuado de las imágenes en los libros de texto de ciencias.

Con una fundamentación apoyada en la teoría de los modelos mentales, Otero y Greca (2004) presentan un completo estudio acerca de las potencialidades y limitaciones de las imágenes en la enseñanza de la Física. Realizan una

clasificación de las imágenes que se utilizan en la enseñanza de la Física, tales como: fotografías, ilustraciones, historietas y caricaturas, esquemas y gráficas, y proponen las categorías para analizar cualitativamente las imágenes en libros de texto de Física de nivel secundario y universitario. Además, describen con ejemplos los diferentes usos de las imágenes que se encuentran en los libros de texto y sus posibles fundamentos. Al respecto, estas autoras sostienen que la manera en que los libros de texto de Física utilizan las imágenes, es como si existiera una relación directa y lineal entre las representaciones externas y las internas. Por otro lado, proponen algunas implicaciones para el uso de imágenes en el aprendizaje de esta ciencia.

Otero y otros (2002) presentan un trabajo donde analizan cómo se usan las imágenes en libros de texto de Física de tres niveles educativos diferentes en Argentina. En primer lugar tratan en qué medida el uso de las imágenes externas podría contribuir con la comprensión de los fenómenos físicos y con la construcción de representaciones mentales adecuadas. Se considera también cómo ciertas concepciones acerca de las relaciones entre las imágenes internas y externas, parecerían influir en la forma en que las imágenes externas son utilizadas. Tales usos pueden derivarse de las concepciones relacionadas con la metáfora de la "figura en la cabeza", que concibe las imágenes externas como evidentes, transparentes y más sencillas que otros modos de representación. Por otra parte, estos autores consideran que posiblemente la sobreabundancia de imágenes encontradas en los libros de textos analizados, no colabore en la construcción de modelos, y sin ellos, no es posible comprender, ni razonar, ni generar representaciones mentales más estables.

También Otero y otros (2002) realizaron un trabajo en el que compararon el rendimiento de dos grupos de estudiantes de Física de secundaria en torno a la unidad didáctica de oscilaciones libres, amortiguadas y forzadas. En uno de los grupos se enfatiza el uso de los recursos visuales tales como imágenes estáticas, animaciones y applets, mientras que en el otro grupo, se realiza un abordaje tradicional. Los resultados del trabajo mostraron que no existían diferencias significativas entre el rendimiento medio del grupo que trabajó con imágenes externas y el grupo que trabajó de manera tradicional. No obstante, los autores destacan los testimonios de los alumnos experimentales, quienes manifestaban sentimientos de placer al trabajar con las imágenes, pero también reconocían un mayor esfuerzo cognitivo. Los autores interpretan estos resultados, tanto en razón

de la sobrecarga cognitiva propia al uso intensivo de las imágenes y a su propia complejidad, como del uso demostrativo que se les dio en el aula.

Desde otra perspectiva, Fanaro y otros (2005a) realizan un estudio diagnóstico sobre las ideas que los profesores de enseñanza media y superior, tienen acerca de las imágenes en los libros de texto, con el objeto de comprender el uso didáctico que se deriva de dichas concepciones. Los resultados muestran que, en general, las ideas de los profesores coinciden con las de la psicología popular; de manera tal que no toman en cuenta las complejidades que tienen las imágenes, en particular para los estudiantes. Por tal motivo, las autoras reclaman la conveniencia de ofrecer al profesorado herramientas intelectuales que le permitan superar esas creencias de sentido común.

3.2. Las imágenes externas y el aprendizaje de la Química

A) EL PAPEL DE LAS IMÁGENES EN LA QUÍMICA

La comunicación es una parte esencial de la actividad que se desarrolla en la clase de ciencias y es así que, en los últimos años, ha aumentado el interés en investigar el rol de los distintos modelos o representaciones externas en el aprendizaje.

Particularmente la Química es una ciencia que asiduamente utiliza el lenguaje visual y muestra de ello es que, para investigar los fenómenos naturales, los químicos han desarrollado una variedad de representaciones externas tales como: modelos moleculares, estructuras químicas, fórmulas, ecuaciones y símbolos (Hoffmann y Laszlo, 1991).

Las representaciones en Química pueden ser clasificadas en tres niveles, que se corresponden con sendos grados de pensamiento, a saber: **macroscópico**, **microscópico (submicroscópico)**, según Johnstone, 1982, 1991, citado en Galagovsky y otros, 2003; Han y Roth, 2005) y **simbólico** (Gabel, 1998; Gabel y otros, 1987; citado en Wu y Shah, 2004).

En el nivel macroscópico, las representaciones químicas se refieren a dibujos, esquemas o diagramas que representan el fenómeno observable. Los experimentos, las experiencias, y todos los sistemas materiales que manipulamos, podemos caracterizarlos mediante descripciones sensoriales que aportan información a este nivel (Galagovsky y otros, 2003). Las representaciones submicroscópicas se refieren a modelos que representan los arreglos y

movimientos de las partículas (átomos y moléculas). Ejemplos de este nivel son las imágenes de esferitas que se suelen utilizar para describir el estado sólido de una sustancia pura (Galagovsky y otros, 2003). Las representaciones en el nivel simbólico, incluyen las formas de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones químicas, símbolos y signos utilizados para representar átomos, moléculas, procesos químicos y estructuras (Galagovsky y otros, 2003 y Wu y Shah, 2004; Han y Roth, 2005).

Estas representaciones externas constituyen modelos de los que se vale la ciencia para explicar, comunicar los conceptos, procesos y fenómenos. Así por ejemplo para visualizar un proceso de síntesis, los químicos bosquejan las estructuras de reactivos y productos, dibujan símbolos, flechas y ecuaciones para describir procesos químicos (Kozma y otros, 2000 citado en Wu y Shah, 2004). De esta manera podemos entender la información y expresarla a través del lenguaje visual.

Profundizando un poco acerca del tipo de lenguaje que subyace a estas representaciones propias de la Química, nos encontramos con algunos estudios que tratan de clarificar el tipo de lenguaje y códigos que se utilizan cuando nos comunicamos en Química mediante estas representaciones. Para Galagovsky (2004), todas las representaciones químicas no utilizan el mismo lenguaje dentro del nivel simbólico. Distingue los siguientes lenguajes:

a) **Lenguaje gráfico**, utilizado, por ejemplo, en los esquemas de partículas y en los modelos de bolas, de bolas y varillas, modelos fusionados, etc. Así, por ejemplo, un modelo de bolas para representar la molécula de agua implica los siguientes conocimientos para el experto en química:

- esferitas sólidas, con volúmenes atómicos que no se corresponden con las distribuciones de masa, y con colores arbitrarios.
- ángulo de 105° (explicando el momento bipolar de la molécula y por tanto sus propiedades)

b) **Lenguaje formal**, utilizado por ejemplo en las representaciones de Lewis y en las fórmulas moleculares. Por ejemplo, la representación de Lewis para la molécula de agua, implica la utilización de un lenguaje formal cuyos códigos podrían enunciarse de la siguiente manera:

- se utilizan las letras que designan los elementos químicos como si fueran los núcleos de cada uno de ellos y la totalidad de sus electrones, excepto los electrones de valencia.
- se utilizan segmentos como nexos entre letras para representar las uniones químicas no iónicas entre los átomos

Sin embargo, para Hoffmann y Laszlo (1991) todas las representaciones químicas utilizan en parte un *lenguaje gráfico* y en parte un *lenguaje formal*: “*las fórmulas químicas mantienen una fuerte conexión con las experiencias sensoriales; en contraste con las palabras mundanas, ellas tienen un importante componente representacional [...]. De hecho, las estructuras químicas difieren de las palabras del lenguaje normal porque combinan valores simbólicos y representacionales. Por tanto, son intermedias entre símbolos y modelos [...] Una fórmula química es en parte pura imaginación y en parte inferencia*”.

Parece claro que la terminología de símbolos representacionales podría ser útil para poner de manifiesto el carácter dual -semántico y analógico- de las imágenes químicas. Lo realmente importante no es la terminología sino la toma de conciencia entre los enseñantes de cuál es la naturaleza de lo que enseñamos. Las fórmulas no son fotografías de una realidad, pero tampoco son invenciones arbitrarias como lo son las palabras del lenguaje verbal. Son convenciones simbólicas utilizadas por los químicos para comunicar ciertos aspectos de la experiencia sensible.

Actualmente existen programas informáticos que permiten visualizar en la computadora fenómenos y procesos químicos, con los que además se puede interactuar. Al respecto, Ardac y Akaygun (2005) abordan un estudio más específico, comparando el uso de imágenes estáticas y dinámicas en las representaciones moleculares para la enseñanza del cambio químico, mostrándose más efectivas las imágenes dinámicas utilizadas individualmente por los estudiantes (en su propio ordenador) y ayudados por el profesor en la clarificación de las posibles contradicciones en el lenguaje verbal y el icónico. Del mismo modo, Lewalter (2003) sostiene que las imágenes dinámicas son “superiores” a las estáticas en el sentido que permiten la visualización de aspectos espaciales y procesos dinámicos (por ejemplo si deseamos mostrar cómo sucede una reacción química). Sin embargo, las imágenes estáticas y las dinámicas requieren diferentes demandas cognitivas en el estudiante; así una representación dinámica ofrece un

modelo completo para generar una representación mental y por lo tanto, ayudarían a una comprensión más profunda que lo que pueden hacer las imágenes estáticas.

También Wu y otros (2001) sostienen que el uso de representaciones dinámicas, como las animaciones en tres dimensiones creadas por programas informáticos, permite a los estudiantes visualizar las interacciones entre las moléculas. Estas animaciones incluyen conversiones entre diferentes tipos de representaciones, como así también transformaciones de estructuras en dos dimensiones en tres dimensiones.

Al respecto, Copolo y Hounshell (1995) realizaron un estudio para comparar el efecto de usar modelos que representan estructuras moleculares en dos y tres dimensiones. El estudio se llevó a cabo con estudiantes de secundaria en un tópico de química orgánica. Para el trabajo se utilizaron cuatro formas de representar las moléculas: a) representaciones en dos dimensiones, b) modelos en tres dimensiones mediante programas informáticos, c) modelos de bolas y varillas en tres dimensiones y por último, d) una combinación de modelos en tres dimensiones mediante programas informáticos con modelos de bolas y varillas. Los estudiantes que trabajaron con estas últimas representaciones, tuvieron mejores aprendizajes que los otros grupos de estudiantes que trabajaron con los otros modelos.

La importancia del pensamiento visual en el aprendizaje de la Química es reconocida por los profesores de química y los investigadores en educación, quienes consideran que parecería existir una correspondencia positiva entre la habilidad visoespacial y los logros de aprendizaje tal como lo muestran las investigaciones de Small y Morton (1983, citado en Wu y Shah, 2004) que muestran que el entrenamiento en tareas visoesapaciales puede mejorar los resultados en el aprendizaje de la Química. También Tuckey y otros, (1991 citado en Wu y Shah, 2004) desarrollaron un programa de instrucción para mejorar el pensamiento visoespacial en los estudiantes y como resultado encontraron que el desempeño de los mismos fue significativamente mejor después de la intervención.

Estos estudios indican una posible correlación entre las habilidades visoespaciales y el desempeño en Química: los estudiantes con bajas habilidades visoespaciales tienen inconvenientes para transformar la información verbal en representaciones visuales. Como las representaciones visuales es una práctica común en Química y los conocimientos conceptuales están basados en representaciones moleculares y

simbólicas, por lo tanto la escasa habilidad espacial es una desventaja (Wu y Shah, 2004).

Existen estudios realizados que indican que los estudiantes de secundaria tienen dificultades en la comprensión y conversión de representaciones. Así muchos de ellos no pueden:

- a) Visualizar la interacción y la naturaleza dinámica de los procesos químicos a través de símbolos y ecuaciones (Ben-Zvi y otros, 1987; Krajcik, 1991, citado en Wu y Shah, 2004; Han y Roth, 2005).
- b) Hacer conversiones entre diferentes representaciones, tales como fórmulas químicas, configuración electrónica y modelo de bolas y varillas (Keig y Rubba, 1993, citado en Wu y otros, 2001; Wu y Shah, 2004; Han y Roth, 2005).
- c) Formar una imagen mental en tres dimensiones por visualización de estructuras en 2 dimensiones, por ejemplo tienen problemas para identificar ángulos, ejes, planos, etc. (Tuckey y otros, 1991, citado en Wu y Shah, 2004; Han y Roth, 2005).
- d) Determinar la estructura molecular a partir de la fórmula empírica (Furió y otros, 2000, citado en Wu y Shah, 2004) pero esta traducción entre representaciones es una tarea de procesamiento de la información que requiere conocimiento de lo conceptual, según lo expresan Lesh y otros (1987, citado en Wu y Shah, 2004).

También Guevara y Valdez (2004), al tratar de sintetizar las dificultades asociadas a la enseñanza y aprendizaje de los modelos químicos, señalan que se sabe poco acerca de cómo cada representación del estudiante interactúa con los diversos modelos presentados por los profesores y por los materiales didácticos empleados. No obstante, la falta de identificación de la sintaxis propia de cada modelo, de su dominio de validez y de las conexiones referenciales entre las distintas representaciones y entre éstas y el texto, parecen estar en el origen de estas dificultades (Benarroch, 2000).

Por otra parte, en un interesante estudio general sobre el pensamiento visoespacial implicado en el aprendizaje de la Química (Wu y Shah, 2004), los autores se centran en tres aspectos del mismo: los requerimientos de habilidades espaciales de los estudiantes, sus errores y dificultades de comprensión en las

representaciones visuales y en los recursos audiovisuales existentes para ayudarles a superar estas dificultades. Asimismo concluyen con una serie de recomendaciones generales: (1) proporcionar representaciones y descripciones múltiples para una misma información; (2) explicitar las conexiones referenciales entre las distintas representaciones y entre éstas y el texto, a ser posible interviniendo el propio alumno; (3) presentar la naturaleza interactiva y dinámica de la Química mediante representaciones estáticas o dinámicas que consideren la demanda cognitiva por parte de sus usuarios; (4) promover la transformación entre representaciones bidimensionales y tridimensionales; y (5) reducir la carga cognitiva de las representaciones haciendo explícita la información que suministran e integrándola con la que disponen los estudiantes.

Por otra parte, Hoffmann y Laszlo (1991) afirman que los errores conceptuales y las dificultades de los estudiantes en la interpretación y conversión de las representaciones químicas, sugieren que éstas son constructos conceptuales que expresan conocimiento conceptual, de igual manera que los diagramas visuales requieren dominio visoespacial para comprenderlos. Visualizar representaciones químicas requiere la relación cognitiva entre componentes conceptuales y componentes visuales que supone la interpretación de símbolos, en un todo de acuerdo con la teoría de Paivio (1991), ya que la relación entre componentes conceptuales y visuales puede mejorar la comprensión de los estudiantes (Wu y Shah, 2004).

B) REPRESENTACIONES O IMÁGENES DE ENLACES QUÍMICOS

En la construcción de la ciencia, las teorías y modelos constituyen un conocimiento clave y, tal es así que algunos autores consideran que deben ser las herramientas más importantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje como así también un medio para mejorar la formación científica de los alumnos (Harrison y Treagust, 1996).

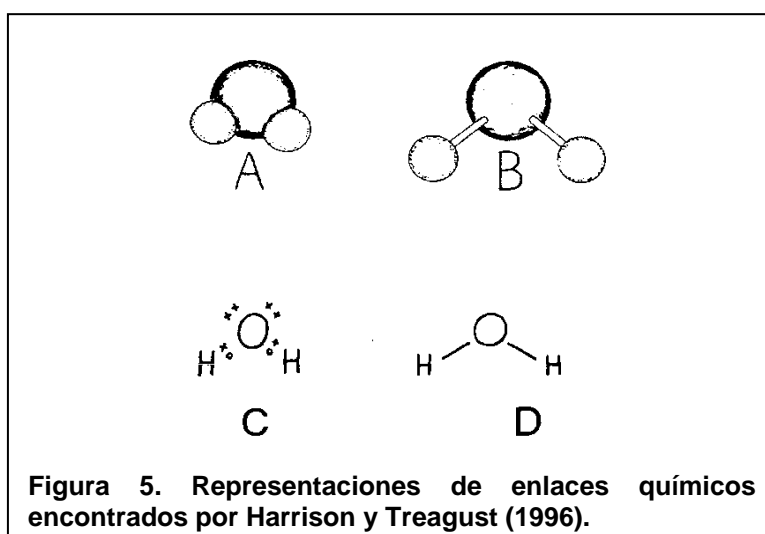
En el ámbito de la Química, los modelos de enlace constituyen un conocimiento básico para que los alumnos comprendan y expliquen la dependencia de las propiedades físicas y químicas de las sustancias y la forma en la que se unen las partículas, así como la importancia que tiene esto en la síntesis de nuevos compuestos y su incidencia en la mejora de la calidad de vida (Zamora Barrancos y otros, 2000).

En este apartado expondremos los modelos o representaciones concretas (como las llaman Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001) que los libros presentan para la enseñanza de este contenido. Estos modelos o representaciones concretas son imágenes reconstruidas a partir de un concepto más complejo y por lo tanto, asociadas a dicho concepto científico (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

El referente de este tipo de representación es un concepto científico, reconstruido mediante artificios pictóricos, simplificadores del concepto más complejo. Por ejemplo, el dibujo de un orbital, el modelo molecular de bolas y varillas, una maqueta, un programa de simulación (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001).

Se puede decir que el uso de los modelos moleculares, como modelos analógicos, es un recurso muy importante y ampliamente difundido en la enseñanza de la química. Los modelos analógicos son especialmente atractivos tanto para alumnos como para profesores, ya que a partir de ellos pueden explicarse conceptos abstractos de la ciencia a través de una forma visual y familiar y su uso es importante para que los estudiantes estimulen la curiosidad y el pensamiento creativo (Harrison y Treagust, 2000). Los alumnos prefieren pensar los conceptos y procesos abstractos en términos concretos (Harrison y Treagust, 1996), pero la retención de los modelos analógicos, más allá de la simple ayuda que pueden brindar para el aprendizaje de conceptos, puede dar lugar a la generación de errores conceptuales (Harrison y Treagust, 2000).

Estudios realizados por Keenan y otros (1980, citado en Harrison y Treagust, 1996), muestran que los enlaces químicos pueden ser representados de diferentes maneras. Los siguientes son algunas de las notaciones que encontraron en las clases de química del secundario (figura 5).



De las distintas representaciones arriba indicadas todos tienen sus bondades especiales y también sus desventajas; el caso del modelo A, llamado **modelo fusionado**, es muy útil cuando se trabaja con estructuras de grandes dimensiones, cuando se requiere identificar un carbono quiral o trabajar sobre un determinado grupo de la molécula, dejando el resto lo más compacto posible; entre sus desventajas está el hecho de que ese modelo no da la verdadera noción y dimensión de los enlaces químicos, con lo cual se desvirtúan tanto el tamaño relativo de las moléculas como los principios fundamentales de la teoría atómica (distancia mínima a la que dos átomos pueden acercarse) (Nappa, 2002).

Por su parte el modelo B, **modelo de bolas y varillas**, es una representación tridimensional en la cual se indican los átomos mediante bolas y las uniones o enlaces entre los mismos con varillas. Carece de los inconvenientes mencionados para el modelo A, aunque tiene el inconveniente de que las moléculas modeladas con él son, en ocasiones, muy voluminosas. Este modelo es muy adecuado para realizar el análisis conformacional de los distintos conformeros posibles, generados por la libre rotación de un enlace simple entre dos átomos de carbono, como también para determinar la configuración absoluta (R, S) de isómeros ópticos (Nappa, 2002).

A priori podríamos suponer que este modelo molecular, por las demandas cognitivas que implica, es adecuado para los alumnos de EGB 3 y para aquellos que se están iniciando en el estudio de los enlaces químicos (Matus Leites, 2006).

El modelo C, **modelo de Lewis**, posee grandes ventajas sobre los otros tres en aquellos casos en que se desea trabajar estructuras electrónicas, diferentes tipos de enlaces, etc. Mientras que el último modelo, el D, llamado **diagrama de rayas**, representa muy bien el tipo de enlaces (simple, doble, triple), el tamaño relativo de las moléculas en cuestión, y la distribución espacial de los átomos que forman una especie química determinada (Nappa, 2002). Cuando este modelo fue utilizado por Butts y Smith (1987, citado en Tan y Treagust 1999), se mostró ineficiente para algunos alumnos en la explicación del reticulado cristalino del cloruro de sodio, ya que al ver los estudiantes seis varillas unidas a cada esfera que representa un ión, pensaban que esto representaba seis enlaces de algún tipo.

Por otra parte todos estos modelos de enlaces químicos profundizan ciertos errores conceptuales tales como que los electrones involucrados en los enlaces no tienen

ninguna movilidad, o que los electrones de los enlaces están ubicados entre los núcleos (Nicoll, 2001, citado en Ünal, 2006).

Otros modelos que hemos encontrado en nuestro análisis de imágenes de libros de texto de secundaria (Matus Leites, 2006) son los que se muestran en la figura 6. En el modelo E, también llamado **figurativo**, prima la representación orgánica, mostrando los objetos mediante la imitación de la realidad (Perales Palacios y Jiménez Valladares, 2004).

De esta manera, se recurre a la analogía, mediante evocaciones de hechos conocidos estableciéndose una comparación entre elementos de un dominio base (conocido y concreto) y un dominio destino (abstracto). Así el alumno puede visualizar en un plano concreto conceptos abstractos, como el de molécula o enlace químico.

Este tipo de modelos o imágenes pueden inducir a errores conceptuales en aquellos alumnos que no son capaces de ver las diferencias entre el análogo que se utiliza de referencia y el objeto o concepto que se quiere representar.

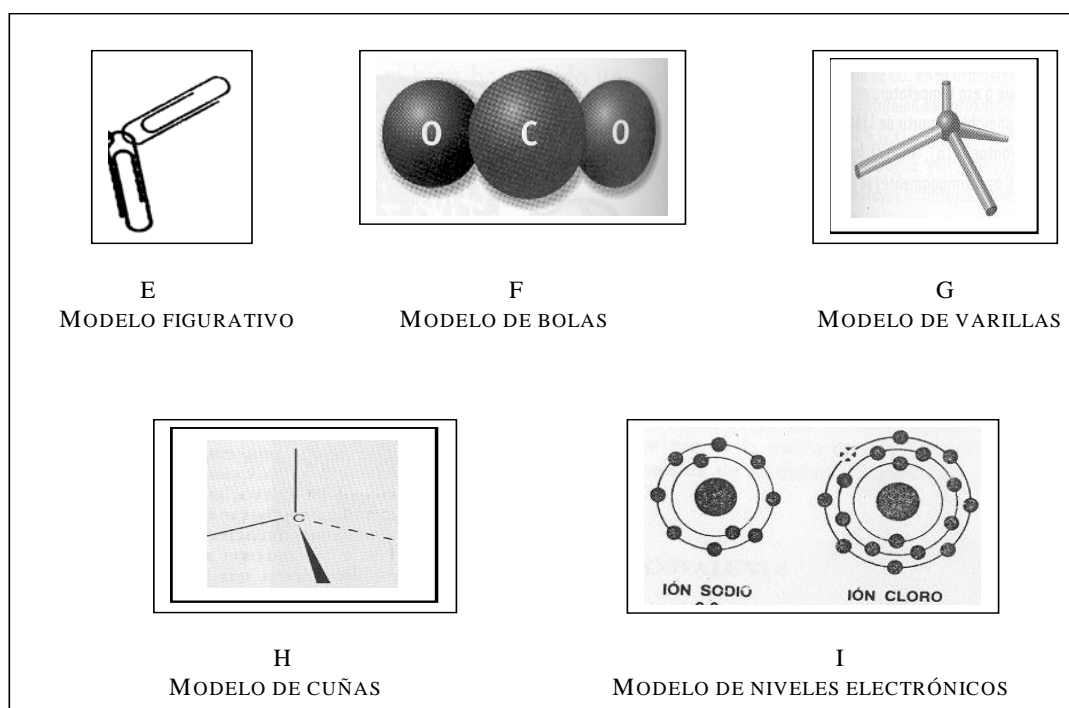


Figura 6. Modelos o imágenes de enlace químico presentes en los libros de texto de secundaria. Tomado de Matus Leites (2006).

El modelo F, llamado **modelo de bolas**, es una representación tridimensional de la molécula en la que los átomos están unidos manteniendo su individualidad.

Al igual que en el modelo fusionado o de empaquetamiento, esta representación es útil cuando se trabaja con estructuras de grandes dimensiones. La desventaja que presenta esta imagen es que no muestra cómo está formado el enlace, con lo cual se pierde la noción y dimensión de los enlaces químicos. Se podría suponer, como ya dijimos, que este modelo o imagen molecular, es adecuado para los alumnos que cursan los primeros años de secundaria (12 a 14 años) por las demandas cognitivas requeridas.


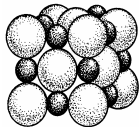
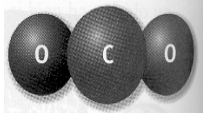

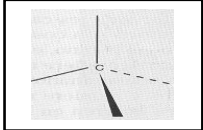
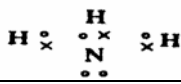
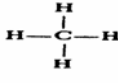
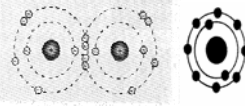
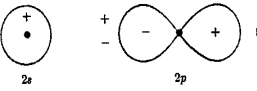
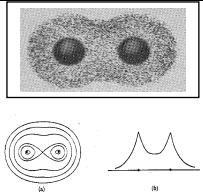
El **modelo de varillas**, modelo G, también es una representación tridimensional y, a diferencia de los modelos anteriores, no se indican los átomos, sino las uniones entre los mismos. Es una representación abstracta, no aconsejable para los alumnos de secundaria. Este tipo de imágenes son muy frecuentes en los libros de texto universitarios para representar moléculas orgánicas de gran tamaño.

De la misma manera que el modelo anterior, el modelo H, **modelo de cuñas**, es tridimensional. En él se indican los símbolos de los elementos y los enlaces que están en el plano del papel, hacia delante y hacia atrás del mismo. Al igual que el modelo de varillas, el modelo de cuñas es abstracto y rara vez está presente en libros de texto de secundaria, sino que están expuestos en libros universitarios.

Finalmente, en el modelo I, modelo de **niveles electrónicos**, se representan los átomos según el modelo atómico de Bohr, con el núcleo y los electrones alrededor distribuidos según el nivel de energía. A diferencia de los modelos anteriores, en este caso se representan todos los electrones. Este modelo es relativamente sencillo ya que permite visualizar la distribución electrónica antes y después de producida la unión química. Este modelo es muy frecuente en los libros de secundaria.

Como se puede ver, cada tipo de representación tiene sus características determinadas y destaca algún aspecto particular de lo que representa (Treagust y otros, 2000), pero uno de los problemas para el aprendizaje de los alumnos es que, tanto los libros de texto como los profesores no indican las equivalencias y diferencias existentes entre ellas (Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios, 2008).

Asimismo, y desde una perspectiva didáctica, es posible hacer una asociación entre las representaciones o imágenes y las teorías científicas sobre el átomo requeridas para su comprensión. Esta asociación se muestra en la tabla 4.

MODELOS ATÓMICOS	DOMINIOS DE VALIDEZ	REPRESENTACIONES CONCRETAS DE ENLACES QUÍMICOS	DOMINIO DE VALIDEZ	EJEMPLOS DE REPRESENTACIONES CONCRETAS
(1) Modelo atómico-molecular (sin constitución interna del átomo)	<ul style="list-style-type: none"> • Distinción de elementos y compuestos • Cambios químicos como reorganización de átomos 	Bolas y varillas	<ul style="list-style-type: none"> • Ángulos y longitud de enlaces • Tamaño relativo de átomos • Estereoquímica 	
		Fusionado	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución espacial 	
		Bolas	<ul style="list-style-type: none"> • Secuencia de átomos unidos • Distribución espacial 	
		Varillas	<ul style="list-style-type: none"> • Estereoquímica 	
(2) Modelos de Rutherford-Bohr-Sommerfeld (con constitución interna del átomo)	<ul style="list-style-type: none"> • Fenómenos de electrización y de electrolisis • Fenómenos nucleares • Explicación de propiedades de las sustancias y de sus transformaciones • Espectros de emisión del Hidrogeno • Efecto fotoeléctrico • Estructura fina del espectro del Hidrogeno 	Cuñas	<ul style="list-style-type: none"> • Ángulos y longitud de enlaces • Estereoquímica 	
		Lewis	<ul style="list-style-type: none"> • Distribución electrónica • Tipo de enlaces 	
		Diagrama de rayas	<ul style="list-style-type: none"> • Número y tipo de enlaces entre cada par de átomos 	
		Niveles electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> • Energías relativas de niveles electrónicos 	
(3) Modelos ondulatorios	<ul style="list-style-type: none"> • Espectros atómicos de elevada resolución (efecto Zeeman, etc.) • Enlace covalente (Geometría molecular) 	CLOA	<ul style="list-style-type: none"> • Núcleos, electrones y orbitales atómicos 	
		OM	<ul style="list-style-type: none"> • Núcleos, electrones y orbitales moleculares • Ángulos de enlaces 	

(4) No se asocia a ningún modelo atómico		Molecular	• Cantidad relativa de tipos de átomos	H ₂ O
---	--	-----------	--	------------------

Tabla 4. Relación entre modelos atómicos, sus dominios de validez, tipos de representaciones concretas, y ejemplos extraídos de libros de texto (Matus, Benarroch y Nappa, enviado para publicar).

Como se ha dicho con anterioridad, en la clasificación propuesta en la Tabla 4 se entiende por:

a) Modelo atómico-molecular, es el que únicamente requiere conceptualizar átomos y moléculas como partículas constituyentes de la materia. Por tanto, no necesita de la constitución interna del átomo. Es un modelo que sirve para explicar la distinción entre elementos y compuestos, ya que al representar un elemento químico, utilizamos átomos iguales que forman moléculas o macromoléculas, mientras que al representar un compuesto químico, utilizamos átomos diferentes. Con este modelo también se pueden explicar los cambios químicos como una reorganización de los átomos de los reactivos, que aparecen en igual naturaleza y número que los de los productos.

Algunas representaciones concretas que pueden asociarse a este modelo son las de bolas y varillas; fusionado o de empaquetamiento; bolas; y, por último, varillas. Cada una de ellas tiene su utilidad didáctica, pero se caracterizan porque únicamente requieren para su comprensión de los conceptos de átomo y molécula y sus conceptos asociados (estructura molecular, volumen de la molécula, ángulos entre átomos, longitudes de enlace,..). Serán también llamados modelos de bajo nivel.

b) Modelos de Rutherford-Bohr-Sommerfeld, son aquellos que especifican la constitución interna del átomo; si bien cada uno tiene sus particularidades, podemos decir que todos indican que el átomo está formado por un núcleo con partículas positivas y electrones que se ubican en órbitas externas al núcleo. A partir de este modelo pueden explicarse los fenómenos de electrización y de electrolisis, algunos fenómenos nucleares, las propiedades de las sustancias y de sus transformaciones, los espectros de emisión del hidrógeno y su estructura fina y el efecto fotoeléctrico. Las representaciones concretas que pueden asociarse a

estos modelos corresponden a cuñas, Lewis, diagrama de rayas y niveles electrónicos. Lo que caracteriza a estas representaciones, debido a que subyace el modelo atómico de Rutherford-Bohr-Sommerfeld, es que todas requieren del conocimiento de la estructura interna del átomo, o, al menos, de los electrones de la última órbita o capa de valencia. Serán llamados también modelos de alto nivel.

c) Modelos ondulatorios, son los que derivan de la mecánica cuántica, permiten explicar los espectros atómicos de elevada resolución (efecto Zeeman), el enlace covalente y la geometría molecular de las estructuras. Hacen referencia a núcleos, electrones y orbitales atómicos y moleculares y permiten justificar ángulos de enlace y propiedades que derivan de la geometría de la molécula (polaridad, acidez, basicidad, etc.). Las representaciones que tienen como referencia los modelos ondulatorios del átomo son las denominadas CLOA y OM.

La representación CLOA, indica la combinación lineal de orbitales atómicos; por lo tanto, no representa el enlace químico como una nueva entidad que se ha formado y cada átomo mantiene su individualidad. Mientras que en la de OM, orbitales moleculares, se especifica que el orbital formado comprende a los dos átomos en su conjunto, es un modelo que no delimita los orbitales atómicos que dieron origen al enlace.

Por último, la representación molecular indica en un lenguaje simbólico (Tomasi, 1999) y/o conceptual (Bruner, 1967, citado en Chamizo, 2006) la clase y número de átomos que forman una molécula, pero no hay ninguna referencia acerca de la distribución y de los enlaces de los mismos. No subyace a ella ningún tipo de modelo atómico.

La clasificación en modelos de bajo nivel, modelos del alto nivel y modelos ondulatorios (que también son de alto nivel, pero se van a denominar así para distinguirlos de los anteriores), va a ser de gran utilidad en el análisis de los libros de texto que será realizado en el capítulo siguiente, en el cual, se tratará de inferir, a partir de las imágenes utilizadas por los autores, los modelos atómicos asociados.

3.3. Concepciones y dificultades de aprendizaje relacionadas con el enlace químico

La Química es una disciplina que presenta inconvenientes en el aprendizaje debido a la naturaleza abstracta y compleja de los conceptos implicados y a la dificultad propia en el lenguaje que utiliza.

Al respecto, Caamaño (2001) considera, por un lado, que una de las dificultades radica en los constantes saltos entre los niveles macroscópico y microscópico (o submicroscópico) para la descripción de la materia, cada uno de estos niveles con diferentes entidades y conceptos. Otra fuente de dificultades radica en la complejidad de las representaciones gráficas y simbólicas utilizadas para describir e interpretar la composición y estructura de la materia mediante símbolos, fórmulas, modelos de bolas, etc. a las que hemos hecho referencia en apartados anteriores. Finalmente, también se ha señalado que podría estar en el origen de las dificultades, el uso de diferentes modelos y teorías (la teoría corpuscular, la teoría cinético-corporcular, la teoría atómico-molecular, los diferentes modelos de la estructura interna del átomo y del enlace químico, etc.) en sucesivas versiones a lo largo de la enseñanza secundaria (Benarroch, 2000).

Existen algunos estudios sobre las dificultades y concepciones que poseen los estudiantes de diferentes niveles educativos, para la comprensión del enlace químico. También nosotros hemos realizado un estudio preliminar (Matus Leites, 2003). Los resultados de estas investigaciones revelan que los estudiantes poseen algunos conceptos erróneos, muestran falta de relación y de coherencia en las respuestas y una comprensión insuficiente de los contenidos implicados.

En este apartado se presentan algunas de estas dificultades y concepciones de los estudiantes agrupados según los siguientes apartados a) relacionadas con las naturalezas del enlace químico y b) relacionadas con los tipos de enlaces químicos.

A) RELACIONADAS CON LA NATURALEZA DEL ENLACE QUÍMICO

Una de las principales razones por la que alumnos tienen dificultades para comprender los conceptos relacionados con el enlace químico es que no han abandonado la visión continua de la materia o han adoptado una visión particular de la misma, como la visión estática de las partículas (Boo, 1998). Observaciones similares aporta Benarroch (1989) al considerar que los estudiantes tienden a

representar la materia continua, o con una estructura con partículas en la que no hay espacio entre las mismas, es decir que están muy juntas, sin huecos, o bien hay otra sustancia por ejemplo, el aire que ocupa todos los rincones. De la misma manera perciben que tanto las partículas como la materia en su estado natural se encuentran en reposo y que solamente dejarán el mismo si hay una causa externa que provoque el movimiento, por ejemplo, movimiento del objeto en los sólidos, del recipiente o al agitar en el caso de los líquidos, presencia de una corriente de aire para los gases, etc.

En general los estudiantes mencionan que las uniones químicas se producen para formar moléculas, pero no tienen en cuenta que también puede producirse otro tipo de estructura superior como puede ser una estructura cristalina. Alvarado Zamorano (2005) manifiesta que existe una marcada confusión con respecto a si el enlace químico consiste en la unión o en la interacción de átomos, elementos, electrones, moléculas, cargas, compuestos, sustancias, orbitales o iones. De la misma manera, esta autora sostiene que no comprenden muy bien que un enlace químico no se establece únicamente a nivel interatómico, sino que también existen interacciones entre moléculas.

La idea de enlace químico como interacción electromagnética, aparece apenas en alumnos de secundaria; por el contrario, para la mayoría, el enlace es diferente en función de la posición de los elementos en la tabla periódica (Zamora Barranco y otros, 2004).

Por otra parte, un concepto muy tenido en cuenta por los alumnos a la hora de definir el enlace químico es el de "número de valencia". Destacamos aquí algunas ideas de los alumnos en relación con este concepto (Matus Leites, 2003) *"en una unión química se intercambian valencias, que es la cantidad de electrones que se ganan o intercambian"*; *"se intercambian o comparten valencias"*; *"las uniones químicas dependen de los electrones de valencia"*; *"los átomos se unen a través de los electrones de valencia que son los del último nivel de energía"*. Cabe destacar que un alto porcentaje de alumnos asocia la valencia de un elemento con el subíndice del elemento con el que se combina; sin duda, influidos por el método con el que se les ha enseñado a formular, método que consiste en intercambiar las valencias y colocar dichos números como subíndice (Caamaño y Casassas, 1987, citado en De Posada, 1999).

Riboldi y otros (2004) estudiaron la conceptualización de los estudiantes sobre el enlace químico utilizando como instrumento de recogida de datos un cuestionario escrito que consta de trece tareas de opción cerrada y dos de opción abierta.

Estas tareas trataban de indagar en los siguientes aspectos:

- a) La comprensión y diferenciación entre cambio de estado y formación de enlace químico.
- b) La carga adquirida por los átomos, iguales o diferentes, para formar enlaces químicos.
- c) La formación de enlaces químicos como proceso espontáneo.
- d) Existencia de moléculas de compuestos iónicos.
- e) La no-participación de los núcleos atómicos en la formación de enlaces químicos.
- f) Condiciones necesarias para que se produzca un enlace químico.
- g) Cuales son las causas de la formación de un enlace químico.
- h) Qué tipo de enlace se produce entre átomos iguales y distintos.

Tomando como base el cuestionario elaborado por estos autores, Matus y Nappa (2006) realizaron un estudio con un grupo de 23 alumnos de secundaria (17 años). Los principales resultados a los que se arribaron y que dan cuenta de las concepciones de los estudiantes, son los siguientes:

- Sobre las condiciones para que se produzca un enlace químico, la mayoría de los alumnos consideran que es necesario dar energía al sistema para que se produzca la unión entre dos átomos iguales. Por el contrario si los átomos son diferentes, consideran fundamentalmente a la ionización como condición necesaria para la formación del enlace y, en segundo lugar suponen que la energía es la condición necesaria para la formación del mismo.
- Respecto a las causas de formación de un enlace, por ejemplo entre los átomos de yodo y plomo, la mayoría considera que se unen para que el yodo complete su octeto electrónico gracias al plomo que le cede sus electrones. En este aspecto los resultados de Valcárcel Pérez y otros (2005), manifiestan que en relación al enlace entre el yodo y el potasio, los alumnos justifican esta unión centrada en el carácter no metálico y metálico de ambos elementos, o en su

posición alejada en la tabla periódica. Más aún, Zamora Barranco y otros (2004) sostienen que, con independencia del modelo iónico o covalente, los estudiantes de secundaria en su gran mayoría, justifican la formación del enlace por la regla del octeto, mientras que unos pocos, justifican por la disminución del contenido energético. Las justificaciones de quienes aluden a la cesión de electrones, a la tendencia a completar el octeto y la consecución de una mayor estabilidad, ideas recogidas de los libros de texto, son minoritarias (Matus y Nappa, 2006).

- Los estudiantes consideran que la formación de moléculas con átomos de un mismo o de distintos elementos, constituye un cambio de estado de agregación. Al respecto Boo (1998) reporta que estudiantes del grado 11 y 12 tienen la concepción errónea de que cuando una sustancia cambia de estado de agregación experimenta la ruptura del enlace covalente intramolecular en vez del enlace intermolecular (Boo, 1998).
- En general los estudiantes no conciben la formación de enlace químico como proceso espontáneo, indican que para que se produzca es imprescindible suministrar energía. Esta consideración puede ser el resultado de una extrapolación de eventos del mundo macroscópico al mundo microscópico, esto es, la energía es necesaria para hacer cosas; de esta manera, en el mundo microscópico, también se necesita energía para formar enlaces (Boo, 1998). Un ejemplo de lo anterior es que la mayoría de los estudiantes consideran que para que una reacción química se produzca es necesario un agente externo, por ejemplo el calor o uno de los reactivos, por ejemplo en la reacción entre el HCl y el Mg, algunos consideran que el Mg aporta la fuerza necesaria para la reacción porque es “más fuerte”, otros sin embargo consideran al HCl porque es “más fuerte” y conduce la reacción (Boo, 1998).
- En lo concerniente al estado de las nubes electrónicas después de producirse un enlace químico, ya sea de átomos iguales o diferentes, es común que los estudiantes piensen que no cambian en su estructura sino que permanecen intactas, sólo que se ha acercado la nube electrónica de un átomo a la del otro (Matus y Nappa, 2006). Esto está muy arraigado en la estructura cognitiva de los alumnos, al punto de ir en contra del conocimiento declarativo: “...los enlaces entre átomos se forman por solapamiento entre los orbitales de los átomos”, justifica un alumno, pero lo grafica indicando lo contrario.

- En cuanto a las propiedades de las sustancias, Zamora Barranco y otros (2004) consideran que la mayoría de los estudiantes relacionan los puntos de fusión de las sustancias con su naturaleza, con referencias más o menos precisas a la composición y/o estructura, lo que indica que reconocen la relación macro-micro de la materia.

B) RELACIONADAS CON LOS TIPOS DE ENLACES QUÍMICOS

Enlace iónico

Con respecto a la unión iónica, los alumnos generalmente indican que la misma se produce entre un metal y un no metal sin hacer mención, en algunos casos, a la formación de iones. Con respecto a esto según estudios realizados por De Posada (1999), la idea de ión no es fácilmente asumida por los alumnos y existen razones psicológicas, epistemológicas y didácticas que podrían explicar esto.

Las razones psicológicas (De Posada, 1999) se relacionan con la teoría de Ausubel, la que considera la existencia previa de ideas inclusoras en la mente para que se pueda producir aprendizaje significativo. Ahora bien, el concepto de ión podría conectar con el de átomo, con el que parece que guarda cierta identidad a considerar por la utilización indiferenciada de muchos alumnos. Sin embargo, es necesaria la diferenciación progresiva de ambos conceptos para poderlo aprender finalmente. Por otro lado, Vygotsky plantea que para que un concepto científico sea aprendido, debe existir previamente uno similar de menor jerarquía en la mente. De esta manera, por un lado Ausubel propone un aprendizaje de naturaleza jerárquica descendente, es decir que conceptos más generales deben abrir paso a conceptos más específicos; por otro lado, Vygotsky expresa lo contrario, es decir que para que el concepto científico de mayor jerarquía sea aprendido es necesario uno espontáneo similar de menor jerarquía. Finalmente, De Posada (1999) considera que ambos procesos de aprendizaje ascendente y descendente son necesarios para conseguir aprendizaje significativo.

En cuanto a las razones epistemológicas, De Posada (1999) considera que probablemente para los alumnos no deben haber diferencias de comportamiento entre átomos y iones, por lo que se podría prescindir del uso del término ión y así, los alumnos creen poder explicar adecuadamente la estructura interna de sustancias iónicas por la alternancia de los átomos constituyentes (De Posada, 1993a, citado en De Posada, 1999). Sin embargo, los estudiantes explican ciertos

fenómenos macroscópicos, tales como la disolución de sustancias en agua por la separación en átomos o moléculas y también justifican la conductividad de los metales por medio de saltos de electrones de unos átomos a otros (De Posada, 1997 citado en De Posada, 1999). De esta forma, aunque el concepto de ión es potencialmente perceptible para los alumnos (Posner y otros, 1982, citado en De Posada, 1999) no resulta aplicable, ya que no presenta la propiedad de ser plausible (resolver nuevos problemas) por no existir insatisfacción con sus concepciones de átomos y moléculas.

Por último, De Posada (1999) se refiere a las razones didácticas considerando que son pocos los libros de texto que aportan pruebas sobre la realidad de los iones y sus diferencias con los átomos, sino que más bien postulan su existencia. Este nuevo concepto no es introducido en los esquemas de los alumnos por simple inducción o actos de fe. Por el contrario, se trata de un complicado proceso de construcción de significados. Los supraíndices utilizados para la notación de los iones son interpretados erróneamente por muchos alumnos que los consideran como subíndices o protones ganados en el caso de los cationes (De Posada, 1993b, citado en De Posada, 1999). Es así que la comprensión del concepto resulta difícil o hasta incomprensible para muchos estudiantes y, en lugar del entendimiento, se instaura el memorismo irreflexivo y acrítico. Como consecuencia, en parte, de la falta de asimilación del concepto de ión resulta más utilizada la estructura molecular que el de red para explicar la estructura interna de sustancias simples. Otra razón puede ser encontrada en la absoluta similitud de las fórmulas de compuestos iónicos y moleculares (De Posada, 1999).

Estudios realizados (Tan y Treagust, 1999; Coll y Treagust, 2001; Coll y Treagust, 2003a) muestran que la concepción alternativa que más prevalece en los alumnos es la de considerar moléculas iónicas. Consideran que el enlace iónico contiene especies moleculares. Parece ser que está bastante internalizado en los estudiantes la concepción de que en los compuestos iónicos (como en cualquier otro tipo de compuestos) se puede considerar como mínima unidad a la molécula. También, muchos autores reportan que los estudiantes consideran la existencia de moléculas iónicas (Matus y Nappa, 2006; Valcárcel Pérez y otros, 2005; Coll y Treagust 2001; Tan y Treagust, 1999; De Posada 1993).

Los estudiantes secundarios prefieren el modelo electrostático para explicar la naturaleza de las sustancias iónicas considerando el enlace como la interacción

entre especies de cargas opuestas formadas por la transferencia de electrones. Este modelo también es utilizado para explicar las propiedades de las sustancias iónicas (Coll y Treagust, 2001).

Taber (1997, citado en Özmen, 2004) también ha investigado las misconceptions en estudiantes sobre el enlace iónico y estableció que reconocen la transferencia de electrones y utilizan la noción de par iónico como molécula. Del mismo modo, Robinson (1998, citado en Özmen, 2004) reporta que el enlace iónico es una transferencia de electrones, más que una atracción de iones que resultan de la transferencia de electrones. La razón por la que los electrones son transferidos es para completar el octeto electrónico.

Por otro lado, Butts y Smith (1987, citado en Boo, 1998) reportaron que los estudiantes del grado 12 se referían a moléculas de cloruro de sodio, también muchos consideraban que el enlace entre el sodio el cloro era covalente, sin embargo, algunos alumnos sí se refirieron al enlace iónico como estructura cristalina formada por iones. Consideraciones similares fueron reportadas por Taber (1994 citado en Boo, 1998) para estudiantes de grado 11.

Esto implica que las representaciones de los alumnos más arraigadas corresponden a moléculas y no a cristales iónicos y esto se ve fomentado porque existen algunos libros de textos que plantean implícita o explícitamente que se puede obtener, por ejemplo, una molécula de cloruro de sodio (Matus y Nappa, 2006). Además el uso de modelos de bolas y varillas para ejemplificar el enlace iónico puede generar errores conceptuales (Butts y Smith, 1987, citado en Ünal y otros, 2006); a pesar de ello los estudiantes de secundaria prefieren representaciones pictóricas realistas tales como el modelo de esferas y bolas (Coll y Treagust, 2003a).

Por otra parte los estudiantes mencionan que en soluciones acuosas de compuestos iónicos existen enlaces iónicos entre los iones, por ejemplo de cloruro y de sodio (Boo, 1998, citado en Ünal y otros, 2006). Así mismo, tienen la concepción errónea de que el resultado de la atracción de las cargas opuestas (iones) producirá la cancelación de dichas cargas o la neutralización, dando como resultado la formación de una molécula neutra. Muchos alumnos creen que el enlace iónico no se ve afectado por el proceso de disolución. Por ejemplo, los alumnos sostienen que en el cloruro de sodio acuoso, hay enlaces iónicos entre los iones sodio y cloruro (Boo, 1998).

Es menos frecuente que definan el enlace iónico como la transferencia de electrones entre un metal y un no metal (Varcárcel Pérez y otros, 2005) y algunos alumnos mencionan que el enlace iónico es el resultado de la atracción entre dos iones de carga opuesta lo cual produce la neutralización de las cargas (Boo, 1998, citado en Ünal y otros, 2006; Coll y Treagust, 2003a). Por otra parte los alumnos indican que el enlace iónico es más fuerte que el covalente (Riboldi y otros, 2004).

También se encontró (Matus Leites, 2003) que sólo un bajo porcentaje de alumnos establecen relación entre el enlace iónico y los parámetros *potencial de ionización* y *afinidad electrónica*, y lo hacen al definir la unión iónica manifestando que se establece entre un elemento de bajo potencial de ionización y otro de alta afinidad electrónica, pero sin embargo cuando definen la unión covalente, no indican que los átomos de los no metales presentan alta afinidad electrónica y alto potencial de ionización.

Por otra parte, De Posada (1993) sostiene que los alumnos generalmente no diferencian entre subíndices, supraíndices (cargas de los iones) y coeficientes estequiométricos.

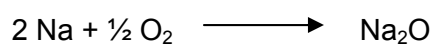
Además, desde nuestra experiencia como profesores de Química, hemos podido detectar otras dificultades y errores conceptuales que los alumnos poseen en el aprendizaje de las uniones químicas, que detallamos a continuación.

- Frecuentemente no distinguen entre enlace iónico y covalente. Por ejemplo en la unión entre el átomo de nitrógeno y los tres átomos de hidrógeno para formar amoníaco, consideran que el enlace es covalente, pero lo grafican como iónico y escriben: $N^{3-} 3H^+$. Algo similar ocurre con el enlace entre dos átomos de sodio y un átomo de oxígeno, considerado erróneamente por los estudiantes como un enlace covalente (muestran compartición de electrones) que luego representan como iones: $2 Na^+ O^{2-}$. Es decir que no asocian la idea de que para que se formen iones debe haber una transferencia de electrones y no una compartición de los mismos.
- Tienen dificultad para determinar las cargas de los iones. En la unión entre dos átomos de sodio y un átomo de oxígeno, los alumnos indican que los iones que se forman son: $2 Na^{2+} O^{2-}$. Es decir colocan “2+” como carga total de los 2 iones sodio, pues argumentan que son 2 los electrones que se pierden. Esta dificultad es muy común en los estudiantes y pensamos que se

podría evitar indicando los iones de la siguiente manera: $\text{Na}^+ \text{Na}^+ \text{O}^{2-}$ es decir sin colocar el 2 que precede al ión sodio.

- Confunden la notación utilizada para indicar la cantidad de átomos. Siguiendo con el ejemplo de la unión iónica de los dos átomos de sodio con el átomo de oxígeno, algunos estudiantes indican los iones formados de la siguiente manera: $\text{Na}_2^+ \text{O}^{2-}$. En la unión covalente de dos átomos de cloro con un átomo de oxígeno, indican correctamente el enlace según el modelo de Lewis pero la dificultad aparece cuando tienen que representar la fórmula molecular, que en este caso la representan como 2ClO . Algo similar ocurre para la molécula de oxígeno cuya fórmula molecular la describen como 2O .

Esta dificultad es muy común entre los alumnos y se observa también en las ecuaciones químicas. Así, en el caso del enlace entre el sodio y el oxígeno, la ecuación química se escribe como:



En ella, hay dos átomos de sodio, tanto en los reactivos como en los productos, pero en los primeros se hace referencia a ello con el coeficiente estequiométrico y en los productos con el subíndice 2. Para comprender esto correctamente, se necesita tener una conceptualización correcta de las especies existentes en las sustancias químicas así como de las fórmulas químicas (empírica o molecular, según se trate de macromoléculas o de moléculas) que se usan en las ecuaciones. Estas dos maneras de indicar la conservación de los átomos mediante notaciones diferentes provocan confusión en el alumno.

Enlace covalente

Sobre la unión covalente algunos alumnos la definen como la unión que se produce entre no metales por compartición de electrones (Robinson, 1998; Boo, 1998, citado en Ünal y otros, 2006); otros indican que se comparten electrones, lo que está relacionado con la regla del octeto (Coll y Treagust, 2001), pero no hacen referencia al tipo de elementos involucrados (no metales). Sin embargo, estudios realizados por Coll y Treagust (2001) indican que muchos estudiantes creen que el enlace covalente implica la transferencia de electrones. Así mismo, Matus y Nappa (2006) sostienen que los estudiantes no tienen muy clara la idea de que la formación de un enlace covalente implica compartir electrones, como tampoco qué significa esa

compartición en términos de la densidad de carga que adquiere un átomo determinado.

Estudios realizados por Boo (1998) sobre los problemas conceptuales de los alumnos relacionados con el enlace covalente muestran que algunos estudiantes consideran el enlace como el resultado de la compartición de un electrón entre dos átomos, de modo que uno de los átomos dona un electrón, que después es compartido entre dos átomos. Este pensamiento es extrapolado del concepto de compartición en la vida cotidiana. Parece ser que las preconcepciones de los alumnos o las ideas del mundo real (vida cotidiana) tienen una fuerte influencia en las ideas que los alumnos adquieren sobre conceptos científicos.

Sobre el aspecto de la carga adquirida por los átomos para formar enlaces químicos, el porcentaje de respuestas correctas es muy bajo. De manera que no está muy clara en los estudiantes la idea de que la formación de un enlace covalente implica compartir electrones, como tampoco qué significa esta compartición en términos de la densidad de carga que adquiere un átomo determinado. Es posible pensar que confunden cargas netas con densidades de carga. Según Coll y Treagust (2001) muchos estudiantes tienen la concepción errónea de que el enlace covalente se produce por transferencia de electrones.

Muchos estudiantes consideran que un enlace debe involucrar necesariamente, un par de electrones (o más de un par de electrones) entre dos átomos; así mismo si A y B forman un enlace y éste se puede representar como: A-B (con un guión entre ambos), lo que hace visualizable el enlace. Esto provoca dificultades para representar tanto el enlace iónico como el metálico y no lo consideran un enlace real (Boo, 1998).

También se observa que es muy difícil para los estudiantes hacer referencia a la cantidad de pares de electrones que comparten dos elementos en las uniones simple, doble o triple lo cual hace pensar que no se comprende totalmente el simbolismo de "guión -" que representa en química un par de electrones.

Todos estos resultados son coincidentes con la investigación realizada por De Posada (1999) según los cuales, la naturaleza del enlace covalente no es bien entendida por los alumnos.

Otra dificultad de los estudiantes consiste en pasar de un modelo o representación a otro. En el enlace covalente entre el átomo de nitrógeno y los tres átomos de

hidrógeno, realizan la representación de Lewis, pero luego no pueden hacer la traslación al diagrama de rayas. En ese caso lo representan como: N-H₃ es decir un átomo de nitrógeno unido por un solo enlace covalente simple a tres átomos de hidrógeno, o bien nitrógeno unido con enlace triple a un solo átomo de hidrógeno, N≡H. Del mismo modo, representan el diagrama de rayas para el enlace entre dos átomos de cloro, como 2 Cl- aún cuando la representación de Lewis sea correcta.

Butts y Smith (1987, citado en Özmen, 2004) reportaron que los estudiantes confunden los enlaces iónicos y covalente, por ejemplo muchos alumnos consideran que los átomos de sodio y cloro están unidos por enlace covalente. Peterson y otros (1989) estudiaron las concepciones alternativas de los estudiantes de grado 11 y 12 y descubrieron que estos no tenían un conocimiento satisfactorio del enlace covalente.

Específicamente el 33% de los del grado 11 y el 23% de los del grado 12 sostienen ideas referentes a una desigual compartición y posición del par de electrones en el enlace covalente. Estos estudiantes parecen no considerar la influencia de la electronegatividad y por lo tanto una desigual compartición del par electrónico. Como resultado del análisis de las respuestas dadas por los estudiantes, se identificaron varias concepciones alternativas que fueron tratadas bajo las categorías: enlace polar, forma molecular, polaridad de moléculas y fuerzas intermoleculares. Estas concepciones se describen a continuación:

- Con respecto al enlace polar, en todos los enlaces covalentes, hay igual compartición del par de electrones. La polaridad del enlace depende del número de electrones de valencia de cada átomo involucrado en el enlace. La carga iónica determina la polaridad del enlace.
- En referencia a la forma molecular, consideran que la forma de la molécula es debida a la repulsión ente los enlaces. La polaridad del enlace determina la forma de una molécula.
- En cuanto a la polaridad de las moléculas, las que son no polares se forman cuando los átomos en la molécula tienen electronegatividades similares.
- En relación a las fuerzas intermoleculares, consideran que son las fuerzas dentro de una molécula. Que las fuerzas intermoleculares fuertes existen en compuestos covalentes sólidos. Los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de forma.

Con respecto a los enlaces intermoleculares, Goh y otros (1993, citado en Özmen, 2004), revela que muchos estudiantes consideran que los enlaces intermoleculares son más fuertes que los intramoleculares. Un estudio realizado por Taber (1995, citado en Özmen, 2004) explicita que los alumnos invocan enlaces intramoleculares en compuestos iónicos. Así mismo, consideran la relación entre enlaces intermoleculares y propiedades físicas, como el punto de ebullición. Estos resultados son consistentes con los estudios realizados por Peterson y Treagust (1989, citado en Özmen, 2004), Peterson y otros (1989, citado en Özmen, 2004), y Taber (1998, citado en Özmen, 2004).

Enlace metálico

Coll y Treagust (2001) afirman que los estudiantes describen el enlace metálico en forma superficial y lo consideran débil o de inferior categoría que los otros tipos de enlaces.

Es muy común que al mencionar la característica principal del enlace metálico consideran que se produce “entre” metales, lo cual es un concepto erróneo, ya que la unión se produce en un mismo metal. Esto tal vez puede deberse a que los alumnos relacionan la unión metálica con la unión iónica y covalente en el sentido que estas uniones se producen entre átomos diferentes.

Investigaciones realizadas por Coll y Treagust (2001, 2003b) y Coll y Taylor (2002) establecen que las explicaciones preferidas por los estudiantes de los diferentes niveles educativos de la educación obligatoria, hacen referencia al modelo del mar de electrones, identificando, como características principales del modelo, la deslocalización y movilización de los electrones. Además utilizan este modelo en sus explicaciones acerca de las propiedades de los metales, por ejemplo la maleabilidad y conductividad.

Por otra parte, los estudiantes universitarios no graduados y los posgraduados mostraron un entendimiento mayor que los estudiantes de secundaria con respecto a la estructura de la red metálica, ya que son capaces de dibujar estructuras en las que se muestran redes metálicas como un empaquetamiento de átomos, incluso en sus explicaciones mencionan diferentes tipos de empaquetamiento tales como cúbico, hexagonal, etc., (Coll y Treagust, 2003b).

Para finalizar, Robinson (1998 citado en Özmen, 2004) afirma que para los estudiantes sólo hay dos clases de enlaces: iónico y covalente, cualquier otra cosa es una fuerza, no un enlace propiamente dicho.

En definitiva, aunque se dispone de un catálogo bastante amplio de las dificultades de los alumnos relacionadas con el enlace químico, desde nuestro punto de vista, faltan estudios evolutivos que permitan ubicar adecuadamente las edades y/o capacidades cognoscitivas a las que cada una de ellas se podría superar. Este tipo de estudios son muy útiles tanto para el diseño del currículum como para el diseño de los procesos de enseñanza-aprendizaje en un aula concreta, pues permiten al profesorado situar las reacciones de su alumnado en una posición dentro del continuo progresivo del aprendizaje posible y deseado en cada grupo de edad. Una misma dificultad o concepción puede ser un logro en determinadas edades y un estorbo o error a superar en otras. Discriminar su estatus en cada nivel de edad será asimismo un objetivo de esta investigación.

Capítulo 3

ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES SOBRE ENLACE QUÍMICO EN LOS LIBROS DE TEXTO

1. ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES DE LOS LIBROS DE TEXTO

Las imágenes dominan el mundo actual y el campo educativo, por ello es necesario conocerlas, decodificarlas, interpretarlas y saber usarlas. En este apartado, nos referiremos a algunos de los diferentes aspectos que se pueden analizar en las imágenes de los libros de texto que, según investigaciones previas, influyen sobre el aprendizaje.

Perales y Jiménez (2002) consideran necesario contemplar en su conjunto, tanto los aspectos formales como semánticos de las imágenes. El análisis formal está relacionado con las características particulares de cada ilustración, es decir las referidas al cumplimiento de un conjunto universal de convenciones gráficas que facilitan la lectura de las mismas. Entre estas convenciones se encuentran el uso de la perspectiva, el color, etc. (Perales Palacios y Jiménez Valladares, 2004). El análisis semántico está relacionado con aspectos tales como: dónde aparecen las imágenes, que relación se establece con el texto, si se incluyen textos específicos

junto a las mismas o el uso de textos dentro de ellas, es decir, las etiquetas verbales (Perales Palacios y Jiménez Valladares, 2004).

A continuación, se detallan algunos aspectos a considerar en el análisis de las imágenes de los libros de texto.

A) ICONICIDAD

Establece el grado creciente de simbolización. Así, las imágenes de menor grado de iconicidad (las menos realistas) exigirán un mayor conocimiento del código simbólico utilizado (Perales y Jiménez, 2002). La iconicidad es el concepto opuesto a la abstracción. Cuanto más abstracta sea la imagen es menos icónica.

Por otra parte, Pro (2003) define el grado de iconicidad como el grado de realismo de una imagen por comparación con el objeto que representa, por ejemplo, una fotografía en color es más icónica que una fotografía en blanco y negro, un retrato es más icónico que una caricatura; el plano de una ciudad es menos icónico que una fotografía aérea; una fórmula química o una página escrita, son todavía menos icónicos, menos semejantes a lo que representan, podemos decir que tienen grado cero de iconicidad (Iradi, 2004). Así, una escala de iconicidad mide el grado de isomorfismo que una imagen guarda con su referente (objeto representado).

Según Iradi (2004) una de las características fundamentales de todo lenguaje icónico es su grado de isomorfismo (similitud de forma) en relación a las características de los referentes, es decir al objeto representado.

El grado de isomorfismo varía a lo largo de una amplia escala, desde lo menos isomórfico a lo más isomórfico.

A 1) ESCALAS DE ICONICIDAD

Según Iradi (2004) la escala de iconicidad más conocida es la que Abraham Moles plantea dividida en trece grados de iconicidad, que van desde la máxima iconicidad (es decir desde lo menos abstracto) hasta la menor iconicidad, es decir donde se incluyen las imágenes más abstractas, por ejemplo donde se describe el objeto mediante palabras o fórmulas algebraicas.

El principio que rige esta escala de iconicidad decreciente radica en que el grado de iconicidad de una forma es inverso a su grado de abstracción, comparando siempre la imagen con el objeto (Iradi, 2004). A continuación en la tabla 5 se presenta la escala de iconicidad de Moles (Iradi, 2004)

NIVEL	DEFINICIÓN	CRITERIO	EJEMPLOS
12	El referente físico mismo		Objeto en vitrina o en exposición.
11	Modelo bi o tridimensional a escala	Colores y materiales arbitrarios	Reconstrucción ficticia, maqueta.
10	Esquema bi o tridimensional reducido o aumentado	Colores y materiales escogidos según criterios lógicos.	Mapas en tres dimensiones, globo terráqueo.
9	Fotografía o proyección realista en un plano	Proyección rigurosa, medios tonos y sombras.	Catálogos ilustrados, pósters.
8	Dibujo, fotografía de alto contraste	Continuidad del contorno y cierre de la forma.	Afiches, catálogos, fotografías técnicas.
7	Esquema anatómico	Corte en la carrocería o envoltorio; respeto por la topografía, cuantificación de elementos y simplificación.	Corte anatómico, corte de un motor, plano de conexiones eléctricas, mapa geográfico.
6	Representación "estallada"	Disposición perspectiva artificial de piezas según relaciones de vecindad topográfica.	Objetos técnicos en manuales de ensamble o reparación.
5	Esquema de principio	Sustitución de los componentes por símbolos normalizados; paso de la topografía a la topología; geometrización.	Mapa de conexiones de un receptor de TV, mapa esquematizado del metro.
4	Organigrama o esquema de bloque	Los elementos son cajas negras funcionales, conectadas lógicamente; presentación de funciones lógicas.	Organigrama de una empresa, flujograma de un programa computacional.
3	Esquema de formulación	Relación lógica, no topológica, en un espacio no geométrico, entre elementos abstractos: Los lazos son simbólicos y todos los componentes, visibles.	Fórmulas químicas desarrolladas, sociogramas.
2	Esquemas en espacios complejos	Combinación en un mismo espacio de representación de elementos esquemáticos pertenecientes a sistemas diferentes.	Fuerzas y posiciones geométricas en una estructura metálica, esquema de estática, representación sonográfica (oscilografía).
1	Esquema de vectores en espacios puramente abstractos	Representación gráfica en un espacio métrico abstracto, de relaciones entre tamaños vectoriales.	Gráficos vectoriales en electrotecnia, polígonos de Blondel para motor de Maxwell.
0	Descripción en palabras normalizadas o fórmulas algebraicas	Signos abstractos sin conexión imaginable con el significado.	Ecuaciones, fórmulas y textos.

Tabla 5. Escala de iconicidad de Abraham Moles. Tomado de Iradi (2004).

Para realizar el análisis estructural de un mensaje icónico se puede tomar como base la propuesta de Santos Guerra (1984, citado en Pro, 2003) que tiene en cuenta las siguientes variables características:

LEGIBILIDAD	ILEGIBILIDAD
Facilidad en la percepción de la lectura y en la interpretación del mensaje visual.	Dificultad en la lectura y en la interpretación.
SIMPLICIDAD	COMPLEJIDAD
Tiene un carácter directo, libre de complejidad.	Diversidad visual a causa de la presencia de unidades de carácter secundario.
ECONOMÍA	PROFUSIÓN
Muy pocos elementos, los justos para comprender el mensaje visual.	Demasiados elementos que se presentan de manera atiborrada y recargada.
MENSAJE PANSÉMICO	MENSAJE MONOPANSÉMICO
Abierto a diversas interpretaciones.	Encaminamiento hacia una interpretación única.
ORIGINALIDAD	VULGARIDAD
Enfoque más creativo, diferente.	Presentación habitual, sin cambios.
INFORMACIÓN MÁXIMA	INFORMACIÓN MÍNIMA
El mensaje contiene amplitud informativa.	Pocos elementos integrantes del mensaje visual.
COORDINACIÓN IMAGEN - TEXTO	DESCOORDINACIÓN IMAGEN - TEXTO
Estructura unitaria del texto y la imagen.	Se dan dos mensajes yuxtapuestos.
DENOTACIÓN	CONNOTACIÓN
El texto apoya la percepción de los aspectos presentes en la imagen.	El texto facilita la interpretación subjetiva de la imagen.

Tabla 6. Variables características que intervienen en el análisis estructural de un mensaje icónico. Tomado de Santos Guerra (1984, citado en Pro, 2003).

Por su parte Perales y Jiménez (2002) proponen una clasificación del grado de iconicidad de las ilustraciones que se extiende desde la fotografía (mayor iconicidad) a la descripción en signos normalizados (menor iconicidad), que según estos autores se detalla a continuación:

1. **FOTOGRAFÍA**
2. **DIBUJO FIGURATIVO:** prima la representación orgánica, mostrando los objetos mediante la imitación de la realidad. Ejemplo:



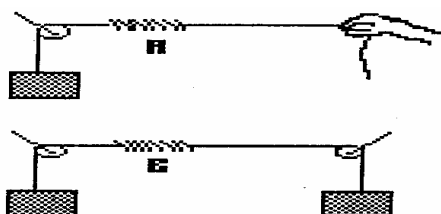
3. **DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS:** Representan acciones o magnitudes inobservables en un espacio de representación heterogéneo. Ejemplo:



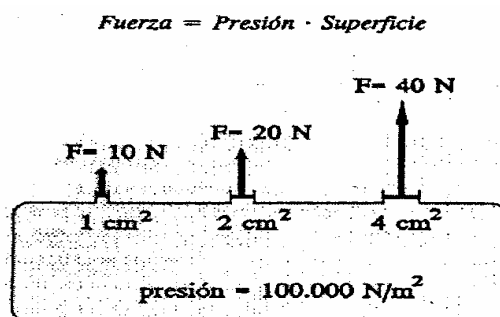
4. **DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS NORMALIZADOS:** Es una variante de la categoría anterior que incluye aquéllas ilustraciones en las que se representa figurativamente una situación y a su lado se representan algunos aspectos relevantes mediante signos normalizados. Ejemplo:



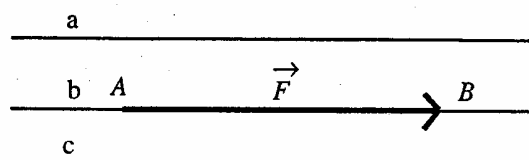
5. **DIBUJO ESQUEMÁTICO:** Prima la representación de las relaciones prescindiendo de los detalles. Ejemplo:



6. **DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS:** Representan acciones o magnitudes inobservables. Ejemplo:



7. **DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS:** Constituye un espacio de representación homogéneo y simbólico que posee reglas sintácticas específicas. Ejemplo:



B) RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL

Es la relación establecida entre el texto, que sostiene el conjunto del discurso narrativo o argumentativo, y las ilustraciones (Perales y Jiménez, 2002). Estos autores consideran que la relación de la imagen con el texto principal, puede ser:

1. **CONNOTATIVA:** El texto describe los contenidos sin mencionar su correspondencia con los elementos incluidos en la ilustración. Estas relaciones se suponen obvias y las establece el lector.
2. **DENOTATIVA:** El texto establece la correspondencia entre los elementos de la ilustración y los contenidos representados. Ej. “la figura x muestra un equipo de destilación”.
3. **SINÓPTICA:** El texto establece la correspondencia entre los elementos de la ilustración y los contenidos representados, y establece además las condiciones en las cuales las relaciones entre los elementos incluidos en la ilustración representan las relaciones entre los contenidos, de modo que la imagen y el texto forman una unidad indivisible.

Por su parte, Otero y Greca (2004) proponen tres tipos de relación entre la información visual y la información textual.

1. **ASOCIATIVA:** en este caso se establecen muy pocas referencias entre la imagen y el texto. Se considera una contigüidad espacial entre ambos, con lo que se pretende una vinculación por asociación que debe realizar el lector. Esta categoría sería similar a la denominada connotativa propuesta por Perales y Jiménez (2002).

2. **DESCRIPTIVA:** la mayor explicitación esta dada en el texto, donde las imágenes son descriptas y explicadas pero la interpretación la debe realizar el lector.
3. **INTERACTIVA:** existe una relación especial e infrecuente entre imágenes y texto, que puede o no estar orientada a derivar conocimiento y a interpretar la imagen.

Pérez de Eulate y otros (1999) sostienen que la relación más utilizada en los libros de texto es la que consiste en ubicar las imágenes en relación directa con el texto escrito, siendo citadas en él y dependiendo del mismo para su comprensión. En este caso, el texto escrito es el que aporta el contenido total de la información y la imagen cumple el papel de mera ilustración. Esta relación sería similar a la categoría denominada denotativa propuesta por Perales y Jiménez (2002) y a la categoría descriptiva propuesta por Otero y Greca (2004).

En el extremo opuesto de la relación verbo icónica, Pérez de Eulate y otros (1999) consideran las imágenes que tienen mayor cantidad de información y, también diferente a la transmitida a través del texto escrito.

C) ETIQUETA VERBAL

Perales y Jiménez (2002) consideran etiqueta verbal a todo mensaje de texto que integra una imagen, sea superpuesto a la propia imagen, o adjunto a ella, como los pies de figura que acompañan algunas veces a las ilustraciones. Para estos autores, las imágenes pueden no contener ningún texto, es decir, no tener etiquetas; pueden tener letras o palabras que identifican algunos elementos de la ilustración, es decir pueden ser nominativas o, pueden tener textos que describen las relaciones entre los elementos de la ilustración, en cuyo caso las etiquetas se denomina relacionales.

Pérez de Eulate y otros (1999) denominan a las etiquetas verbales como anotaciones verbales o rótulos y sostienen que establecen un nexo fundamental ya que participan del contenido presentado en el texto (por ser de naturaleza verbal) y, al mismo tiempo pertenecen al ámbito de la imagen por encontrarse dentro del espacio de la ilustración. Al mismo tiempo, estos autores consideran que las etiquetas verbales se utilizan para diversos fines, entre ellos: para seleccionar información relevante presente en el texto o en la imagen, para poner de manifiesto

la relación causa–efecto sobre un proceso o para establecer relaciones entre diferentes partes de una imagen.

D) FUNCIÓN DE LA IMAGEN

Otero y Greca (2004) proponen tres funciones de la imagen:

1. **COMO ELEMENTOS DE ORNAMENTACIÓN Y MOTIVACIÓN:** la imagen se utiliza como un recurso estético, decorativo y motivador para embellecer el texto y tornarlo visualmente atractivo para el lector.
2. **COMO INSTRUMENTO ILUSTRATIVO Y FACILITADOR DE LA COMPRENSIÓN:** las imágenes se pueden utilizar para ilustrar y reducir la abstracción del discurso verbal buscando facilitar la comprensión del texto a través de descripciones y relaciones de las mismas en el texto.
3. **COMUNICACIÓN VISUAL:** se refiere a las diferentes formas de utilizar la imagen, por ejemplo: para introducir un tema, o para enfatizar el uso del discurso visual como es el caso de las secciones llamadas temas con imágenes, infografías, lectura de imágenes que estarían destinadas a aprender con imágenes.

Por su parte, Carney y Levin (2002, citado en Pérez de Eulate y otros 1999) han detallado las distintas funciones que cumple la imagen como complemento al texto. Estas funciones son las siguientes:

1. **REPRESENTATIVA:** la imagen representa o refleja parte del texto, como por ejemplo en las ilustraciones de los cuentos.
2. **ORGANIZATIVA:** la imagen provee un marco estructural adecuado para el contenido del texto, por ejemplo, una ilustración que muestra los distintos pasos para el armado de un equipo de destilación.
3. **INTERPRETATIVA:** la imagen ayuda a clarificar un texto difícil y, hace uso de conocimientos previos a través del razonamiento por analogía, por ejemplo representando la presión arterial utilizando un sistema de bombeo como metáfora.
4. **TRANSFORMACIONALES:** la imagen incluye principios mnemónicos sistemáticos para mejorar el recuerdo de la información contenida en el texto.

Así mismo, Levin, Anglin y Carney (1987, citado en Solaz–Portolez, 1996) consideran que las ilustraciones desempeñan las siguientes funciones en los textos educativos:

1. Hacer más atractivo el texto.
2. Visualizar eventos particulares, personas, lugares, etc.
3. Ayudar a recordar la información importante.
4. Organizar coherentemente la información.
5. Favorecer la comprensión del texto.

Por su parte, Guevara y Valdez (2004) señalan que las funciones que las imágenes químicas desempeñan en la enseñanza de la química son primordialmente explicatorias, descriptivas y ejemplificativas, mientras que su utilización para la predicción y elaboración de hipótesis son raramente atendidas.

Aunque esta clasificación según las diferentes funciones de las imágenes, está realizada para categorizar distintos tipos de imágenes, especialmente de tipo figurativo (aquellas en las que existe un alto grado de iconicidad) como por ejemplo, un mapa topográfico o un diagrama anatómico, también pueden incorporarse aquellas imágenes con mayor nivel de abstracción (como los mapas conceptuales o las gráficas matemáticas y estadísticas) sobre todo en la forma de imágenes organizativas e interpretativas (Pérez de Eulate y otros 1999).

E) FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA EN LA QUE APARECE LA ILUSTRACIÓN

Por su parte, Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004) apuestan por analizar la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones, haciendo referencia al para qué se emplean las imágenes, en qué pasaje del texto se sitúan, etc. (Jiménez Valladares y Perales Palacios, 2001). Distinguen las siguientes categorías:

1. **EVOCACIÓN:** Se hace referencia a un hecho cotidiano o concepto que se supone conocido por el alumno.
2. **DEFINICIÓN:** Se establece el significado de un término nuevo en su contexto teórico.
3. **APLICACIÓN:** Es un ejemplo que extiende o consolida una definición.

4. **DESCRIPCIÓN:** Se refiere a hechos no cotidianos que se suponen desconocidos por el lector y que permiten aportar un contexto necesario. También se incluyen en esta categoría conceptos necesarios para el discurso principal pero que no pertenecen al núcleo conceptual.
5. **INTERPRETACIÓN:** Son pasajes explicativos en los que se utilizan los conceptos teóricos para describir las relaciones entre acontecimientos experimentales.
6. **PROBLEMATIZACIÓN:** Se plantean interrogantes no retóricos que no pueden resolverse con los conceptos ya definidos. Su finalidad es incitar a los alumnos a poner a prueba sus ideas o estimular el interés por el tema presentando problemas que luego justifican una interpretación o un nuevo enfoque.

F) ESTRUCTURA GRAMATICAL DE LAS IMÁGENES

Krees y van Leeuwen (1996, citado en Otero y Greca, 2004) distinguen entre las imágenes que tienen *estructura narrativa*, es decir las que representan a los participantes en una acción, en un momento particular y las que tienen *estructura conceptual*, es decir que representan relaciones y características fijas. Estos autores también señalan que ambas estructuras pueden ser *naturalistas* (realistas) o *abstractas*.

G) CONTENIDO CIENTÍFICO QUE LAS SUSTENTA

Este aspecto de las ilustraciones se refiere al contenido de las imágenes; es por lo tanto, específico de la temática analizada, en nuestro caso el enlace químico. En ella caben análisis de distinta naturaleza, tales como: contenidos ilustrados, errores técnicos o científicos presentes en las ilustraciones, o inducción / disuasión de ideas alternativas características de los alumnos.

2. INSTRUMENTO USADO PARA EL ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES DE ENLACE QUÍMICO EN LIBROS DE TEXTO

Luego del análisis general de los diferentes modelos e imágenes de enlace químico encontrados en los libros de texto de secundaria y universidad, y sabiendo que dichos modelos juegan un papel esencial en el aprendizaje de los enlaces químicos, vemos la necesidad de hacer un análisis más profundo sobre cuáles son

las imágenes presentes en estos libros de texto que presumiblemente se utilizan actualmente en nuestras aulas para la enseñanza de este contenido.

Concretamente pretendemos analizar las imágenes moleculares de enlace iónico, covalente y metálico, dejando para estudios posteriores las imágenes referidas a enlaces intermoleculares

Tras el análisis de las diferentes propiedades que podían ser analizadas en las imágenes usadas para la enseñanza del enlace químico en los libros de texto, como hemos justificado, se optó por utilizar como base la clasificación de Perales y Jiménez (2002). Se trata de una clasificación que tiene en cuenta una multiplicidad de aspectos de las imágenes (iconicidad, relación con el texto principal, etiqueta verbal, función de la secuencia didáctica y contenido científico que las sustenta), lo que permite considerarla como una clasificación completa y representativa que incluye todos los apartados señalados en el epígrafe anterior. La clasificación de los demás autores: Moles (Iradi, 2004), Santos Guerra (1984, citado en Pro, 2003), Otero y Greca (2004), Pérez de Eulate y otros (1999), Carney y Levin (2002, citado en Pérez de Eulate y otros, 1999), son limitativas porque consideran sólo aspectos parciales.

Por tanto, las categorías de análisis propuestas por Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004) y su descripción se muestran en la tabla 7.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
1. FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA EN LA QUE APARECEN LAS ILUSTRACIONES	Para qué se emplean las imágenes, en qué pasajes del texto se sitúan, etc.
2. ICONICIDAD	Qué grado de complejidad poseen las imágenes.
3. RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	Referencias mutuas entre texto e imagen. Ayudas para la interpretación.
4. ETIQUETAS VERBALES	Textos incluidos dentro de las ilustraciones.
5. CONTENIDO CIENTÍFICO QUE LAS SUSTENTA	Caracterización desde el punto de vista científico de las situaciones representadas en las imágenes.

Tabla 7. Categorías de análisis que constituyen la taxonomía y descripción de las mismas. Tomada de Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004).

Al realizar el análisis de las imágenes de los libros de texto para el tema de enlace químico, nos surgió la necesidad de introducir algunas precisiones en la clasificación, propuesta por Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004), a fin de producir una adaptación de la misma al tema de enlace químico. El ajuste de esta

taxonomía a las ilustraciones correspondientes al contenido del enlace químico no fue fácil, dado que, estos autores diseñaron la taxonomía para el contenido de mecánica elemental. Este contenido conceptual tiene una carga empírica muy superior al contenido que nos ocupa. No obstante, se optó por introducir las modificaciones en la medida que éstas fueran siendo necesarias, contando para ello con el juicio de tres expertos.

En referencia a la **función de la secuencia didáctica**, el bagaje experimental que los seres humanos tenemos respecto a la mecánica elemental, es mucho mayor que el que tenemos respecto al enlace químico, lo que afecta de modo especial a esta categoría. En consecuencia, una cuestión previa fue la posible extrapolación de las mismas categorías a este nuevo contenido.

Por juicio de tres expertos, se acordó mantener los mismos nombres usados por sus autores dado que se verificó su validez en el contexto de la Química y abarcaba de forma razonable las funciones propuestas por el resto de los autores citados anteriormente. Así a continuación se pueden ver que los ejemplos propuestos se refieren al contenido del enlace químico:

1. **EVOCACIÓN:** Se hace referencia a un hecho cotidiano o concepto que se supone conocido por el alumno. Por ejemplo: “para entender una reacción química, podemos hacer esta comparación: los alumnos de un curso se encuentran tomados de la mano en grupos de cuatro, luego se sueltan, forman nuevos grupos y se vuelven a tomar de la mano”.
2. **DEFINICIÓN:** Se establece el significado de un término nuevo en su contexto teórico. Por ejemplo: “la unión iónica es aquella en la que hay transferencia de electrones de un metal a un no metal...”.
3. **APLICACIÓN:** Es un ejemplo que extiende o consolida una definición. Por ejemplo: “en el caso del óxido de calcio, conocido en el comercio como “cal viva”, sucede lo siguiente”.
4. **DESCRIPCIÓN:** Se refiere a hechos no cotidianos que se suponen desconocidos por el lector y que permiten aportar un contexto necesario. También se incluyen en esta categoría conceptos necesarios para el discurso principal pero que no pertenecen al núcleo conceptual. Por ejemplo: “cuando dos átomos de hidrógeno se unen y forman una molécula

biatómica, cada uno contribuye con su electrón en la formación del par electrónico”.

5. **INTERPRETACIÓN:** Son pasajes explicativos en los que se utilizan los conceptos teóricos para describir las relaciones entre acontecimientos experimentales. Por ejemplo: “...los electrones están más cerca del átomo más electronegativo, que es el de mayor capacidad para atraer electrones... la molécula es covalente polar”.
6. **PROBLEMATIZACIÓN:** Se plantean interrogantes no retóricos que no pueden resolverse con los conceptos ya definidos. Su finalidad es incitar a los alumnos a poner a prueba sus ideas o estimular el interés por el tema presentando problemas que luego justifican una interpretación o un nuevo enfoque.

El **grado de iconicidad** fue una de las categorías que más dificultades planteó en su proceso de adaptación. En los libros de texto más básicos son frecuentes las imágenes en las que priman la representación orgánica y en las que se muestran los objetos mediante la imitación de la realidad. Estas representaciones responden a la categoría de *dibujos figurativos*, tal es el caso de la imagen de dos clips enlazados para representar una molécula por ejemplo de hidrógeno. Así mismo, representaciones moleculares tales como, modelos de bolas, varillas, bolas y varillas y fusionado, también pueden incluirse en esta categoría, ya que las entidades son representadas mediante objetos reales (bolas, varillas).

Pero la problemática mayor se presentó a la hora de clasificar los otros modelos: niveles electrónicos, Lewis, diagrama de rayas, CLOA, OM, cuñas y las fórmulas moleculares. Estas representaciones podrían encajar como *dibujos figurativos más signos*, *dibujo esquemático más signos* o bien como *descripciones en signos normalizados*, al constituir espacios de representación homogéneos y simbólicos que poseen reglas sintácticas específicas. Finalmente, optamos por considerar:

- En el primer grupo, esto es, *dibujos figurativos más signos* (representan acciones o magnitudes inobservables en un espacio de representación heterogéneo), se incluye al modelo clásico del mar de electrones para representar al enlace metálico, ya que mediante esferas se representan a los núcleos atómicos rodeados de otras esferitas que simbolizan las cargas eléctricas negativas. En este grupo, también se incluyen las redes iónicas y las denominadas representaciones de niveles electrónicos, ya que sus

entidades (partículas que constituyen el átomo) son representadas mediante bolas.

- El segundo grupo, es decir, *dibujo esquemático más signos* (representa acciones o magnitudes inobservables), son incluidas, por ejemplo, las representaciones de la energía de los electrones de orbitales enlazantes y antienlazantes, con la correspondiente distribución de electrones; también, los modelos de cuñas, orbitales atómicos y orbitales moleculares.
- Por último, en el tercer grupo, es decir, *descripciones en signos normalizados* (constituye un espacio de representación homogéneo y simbólico que posee reglas sintácticas específicas) se incluyen las representaciones de Lewis, diagrama de rayas y molecular.

Si comparamos el nivel de *iconicidad* de las ilustraciones de los libros de secundaria (ex EGB 3 y Polimodal) y universidad, se pueden agrupar en dos grupos según requieran el conocimiento de la configuración electrónica de los elementos:

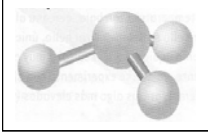
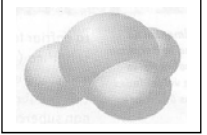
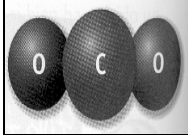
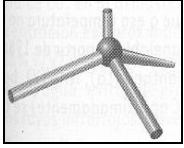
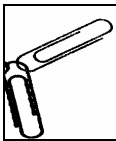
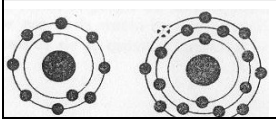
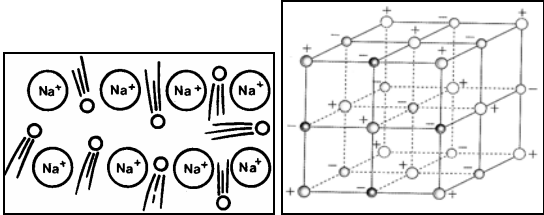

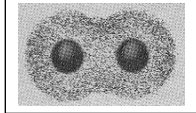
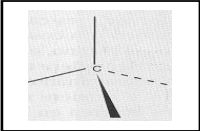
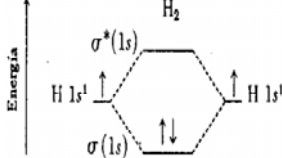
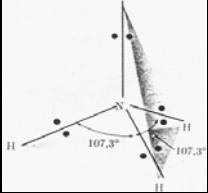
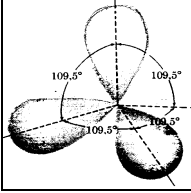
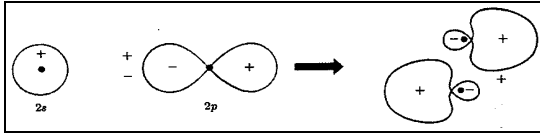
1. *Modelos de alto nivel*, representados por las imágenes que exigir un conocimiento de la configuración electrónica de los elementos. En este caso, se incluyen: niveles electrónicos, CLOA, OM, cuñas, Lewis y diagrama de rayas.
2. *Modelos de bajo nivel*, referidos a las imágenes que no tienen la exigencia conceptual de la configuración electrónica de los elementos. Este grupo lo integran: bolas, varillas, bolas y varillas, fusionado y molecular.

Si en lugar de utilizar, como criterio clasificatorio de las imágenes, el conocimiento de las configuraciones electrónicas de las mismas, se usa el tipo de lenguaje involucrado, se llega a conclusiones similares. Recordemos en este sentido la clasificación de Galagovsky (2004) que vimos en el marco teórico en el apartado 3.2. Para esta autora, todos los modelos aquí llamados de bajo nivel utilizan el lenguaje gráfico, mientras que todos los modelos de alto nivel (a excepción del modelo molecular) utilizan el lenguaje formal.

La única excepción a esta regla son las imágenes moleculares, que si bien son de nivel bajo (pues no tienen por qué exigir del conocimiento de la estructura electrónica de los átomos involucrados) utilizan un lenguaje formal de comunicación.

En los libros de texto universitarios, se han encontrado diversas representaciones que nos ha sido muy difícil encasillarlas en los grados de iconicidad propuestos por Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004). Entre estas representaciones encontramos aquellas que muestran el proceso de formación de orbitales moleculares a partir de orbitales atómicos, orbitales híbridos, distribución de electrones en los orbitales atómicos (casillas cuánticas). Estas imágenes las hemos incluido en la categoría de *dibujo esquemático más signos*, pues representan magnitudes inobservables, incluyen códigos que encierran muchos conceptos abstractos e involucran tanto el lenguaje gráfico como el formal. Con respecto a las gráficas cartesianas, si bien no es objetivo de nuestro trabajo analizarlas, se incluyen algunas. Estas gráficas las hemos clasificado en el nivel de iconicidad de *descripciones en signos normalizados* pues constituyen un espacio de representación homogéneo y simbólico que posee reglas sintácticas específicas. Ver tabla 8.

Las categorías referidas a la relación de la imagen con el texto principal, las etiquetas verbales y el contenido científico que las sustenta, no requirieron adaptaciones a nuestros fines, con lo cual se aplicaron tal como lo proponen Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004).

GRADOS DE ICONICIDAD	REPRESENTACIONES MOLECULARES			NIVEL	LENGUAJE
<p>Dibujo figurativo (prima la representación orgánica, mostrando los objetos mediante la imitación de la realidad)</p>	<p>Bolas y varillas</p> 	<p>Fusionado</p> 	<p>Bolas</p> 	Bajo	Gráfico
	<p>Varillas</p> 	<p>Otros</p> 		Bajo	Gráfico
<p>Dibujo figurativo más signos (representan acciones o magnitudes inobservables en un espacio de representación heterogéneo)</p>	<p>Niveles electrónicos</p> 			Alto	Formal
	<p>Otros</p> 			Bajo	Gráfico
<p>Dibujo esquemático más signos (representan acciones o magnitudes inobservables)</p>	<p>CLOA</p> 	<p>OM</p> 		Alto	Gráfico Y Formal
	<p>Cuñas</p> 	<p>Otros</p> 		Alto	Gráfico Y Formal
				Alto	Gráfico Y Formal
				Alto	Gráfico Y Formal

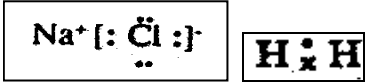
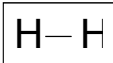
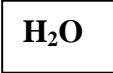
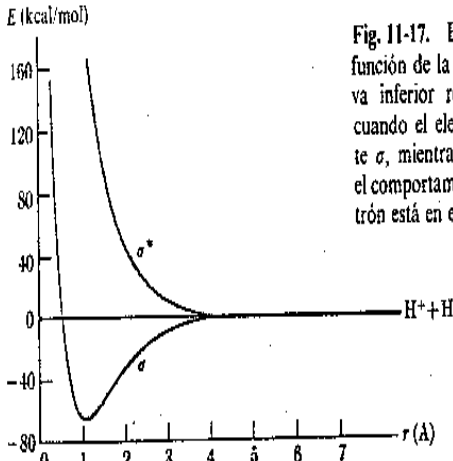
Descripción en signos normalizados (constituye un espacio de representación homogéneo y simbólico que posee reglas sintácticas específicas)	Lewis 	Diagrama de rayas 	Alto	Formal
	Molecular 		Bajo	Formal
	Otros		 <p>Fig. 11-17. Energía total E del sistema H_2^+ en función de la distancia internuclear r. La curva inferior representa la situación existente cuando el electrón está en el orbital enlazante σ, mientras que la curva superior expresa el comportamiento de la energía cuando el electrón está en el orbital antienlazante σ^*.</p>	Alto

Tabla 8. Grados de iconicidad, niveles y lenguaje implicados en las representaciones moleculares.

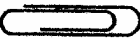
3. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES DE ENLACE QUÍMICO EN LOS LIBROS DE TEXTO PARA ESTUDIANTES DE 12 AÑOS


En este apartado se realiza el análisis de las imágenes de enlace químico presentes en seis libros de texto de EGB 3 (actuales 1^o, 2^o y 3^o año de secundaria).

Libro de Texto N° 1

Domenech, G., Espinoza, C., Frid, D., Huberman, N., Umerez, N., y Casanova, H. (1997). *El libro de la Naturaleza y la Tecnología 7*. Buenos Aires: Ed. Estrada.

Nivel: 7° EGB
(12 años)

La fórmula de la sustancia carbono estará representada por un solo ganchito rojo:
 Representación química: C
 Representación con ganchitos: 

La fórmula de la sustancia oxígeno estará representada por dos ganchitos azules enlazados entre sí:
 Representación química: O₂
 Representación con ganchitos: 

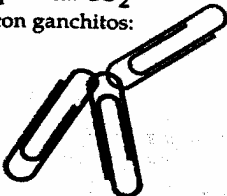
La fórmula de la sustancia dióxido de carbono estará representada por un ganchito rojo y dos azules enlazados entre sí:
 Representación química: CO₂
 Representación con ganchitos: 

Fig. 1.1. pp. 114-115

2 C + O₂ → 2 CO

Observen que en este caso colocamos el número dos delante de la sustancia carbono, y también, delante de la sustancia monóxido de carbono. Significa que, para que el cambio ocurra, deben encontrarse dos unidades de la sustancia carbono (C) con una sola unidad de la sustancia oxígeno (O₂). Como resultado de la transformación, se obtienen dos unidades de la sustancia monóxido de carbono.

Utilizamos también ganchitos para interpretar qué ocurre durante la transformación.

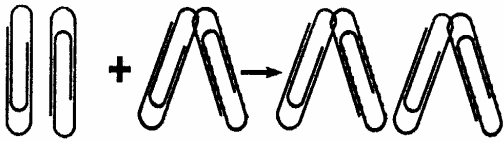


Fig. 1.2. pp 114-115.

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
1.1	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (otro)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
1.2	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA

En primer lugar, contextualizaremos las imágenes analizadas. Estas imágenes aparecen en el capítulo “Las transformaciones de la materia” y en él se incluyen las transformaciones físicas y químicas que ocurren en la naturaleza.

Específicamente estas figuras aparecen en el apartado referido a los cambios químicos. En este apartado se explica qué son los cambios químicos, cómo se representan, es decir mediante ecuaciones y la conservación de los átomos durante una transformación química.

En la figura 1.1 se recurre a la imagen para definir el concepto de fórmula de sustancia química, mientras que en la figura 1.2 se pretende definir el concepto de reacción química.

En este caso, para definir estos conceptos abstractos, se hace referencia a un hecho cotidiano o concepto conocido, es decir la utilización de clips de colores para la representación de átomos y moléculas. Esta estrategia pretende que el alumno visualice en un plano concreto conceptos abstractos.

De acuerdo a Otero y otros (2003) la imagen en este caso, es un instrumento facilitador de la comprensión que se utiliza para reducir la abstracción del contenido. Según Carney y Levin (2002, citado en Pérez de Eulate y otros, 1999) esta imagen es interpretativa ya que, a través de un razonamiento por analogía ayuda a clarificar un texto o contenido difícil como el de reacción química que involucra la ruptura y formación de nuevos enlaces entre los átomos de las moléculas.

La relación de la imagen con el texto principal, muestra la correspondencia que se establece entre éste y los elementos de la imagen –los clips- de modo que la imagen y el texto forman una unidad, haciendo innecesaria la etiqueta verbal.

Según Krees y van Leeuwen (1996, citado en Otero y Greca, 2003), esta imagen tiene estructura conceptual ya que describe cómo ocurre una reacción química, también es abstracta porque remite a conceptos abstractos.

Libro de Texto N° 2

Carreras, N., Conti, O., Fernández, C., Lantz, M., Milano, C., y Oliver, C. Nivel: 7° EGB (2001). *Ciencias naturales 7*. Buenos Aires: Editorial Puerto de Palos. (12 años)

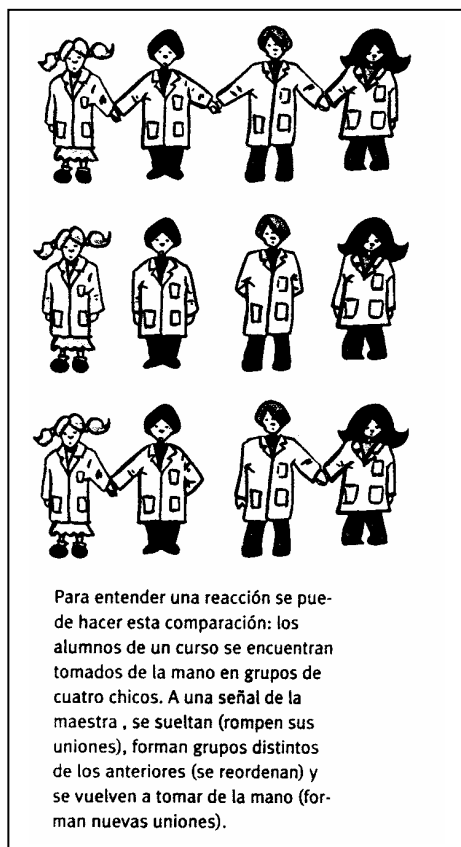


Fig. 2.1 p 237

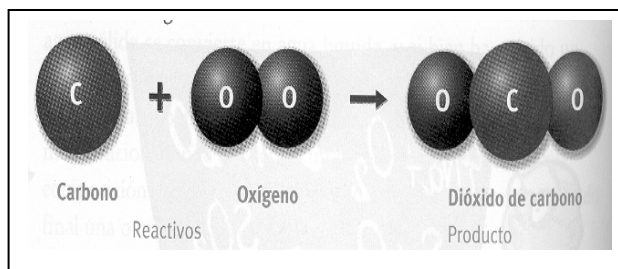


Fig. 2.2 p 238

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
2.1	EVOCACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
2.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

El capítulo donde aparecen estas figuras se llama "Transformaciones y reacciones químicas". Este apartado comienza con una descripción de las transformaciones físicas y químicas que ocurren en la materia, seguidos de una explicación de la conservación de la masa en dichas transformaciones. Posteriormente se presentan a las ecuaciones químicas como forma de representar las reacciones químicas.

La función de la secuencia didáctica en la que aparece la figura 2.1 es la descripción–evocación. En esta imagen se intenta explicar una situación a través de una imagen con el fin de evidenciar relaciones o ideas abstractas, no evidentes por sí mismas, como la de reacción química, donde las uniones de los átomos que forman las moléculas de los reactivos deben romperse y luego reordenarse formando nuevas moléculas, es decir nuevas sustancias. De esta manera, se recurre de una manera original y creativa a la comparación, a la analogía con alumnos del reordenamiento de los átomos cuando se produce una reacción química a fin de clarificar este concepto abstracto.

Con respecto al uso de las analogías, es conveniente aclarar que si bien son un recurso didáctico útil, pueden inducir a errores conceptuales en aquellos alumnos que no son capaces de ver las diferencias entre el análogo que se utiliza de referencia y el objeto o concepto que se quiere representar.

La relación de la imagen con el texto principal es sinóptica ya que se establece una correspondencia entre los elementos de la ilustración y los contenidos representados y, establece además, las condiciones en las cuales las relaciones entre los elementos de la imagen representan las relaciones entre los contenidos. La etiqueta verbal es relacional ya que el texto de la misma describe las relaciones entre los elementos de la ilustración.

Para Krees y van Leeuwen (1996, citado en Otero y Greca, 2003), la imagen anterior presenta estructura narrativa ya que intervienen personas realizando una acción, es naturalista porque remite a una situación real, es conceptual pues describe cómo ocurre una reacción química y también es abstracta.

Al igual que la imagen del texto anterior, la figura 1.1, esta imagen requiere del alumno pocas demandas cognitivas, como es de esperar para este nivel.

Con respecto a la figura 2.2, la función de la secuencia didáctica en la que aparece, es la descripción de la conservación de los elementos en una reacción química.

La relación con el texto principal es connotativa y, la etiqueta verbal es nominativa.

En cuanto al grado de iconicidad, la primera imagen corresponde a un dibujo figurativo y la segunda, a un modelo de bolas.

Libro de Texto N° 3	
Bassarsky, M., Valerani, A., Arriazu, F., Cornejo, J., Drewes, A., Martínez Larghi, M., y Villegas, D. (2001). <i>Naturaleza en Red 7</i> . Buenos Aires: Editorial AZ.	Nivel: 7° EGB (12 años)

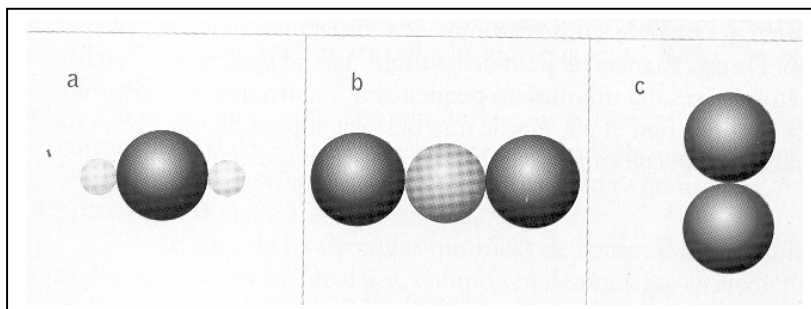


Fig. 3.1. p 255

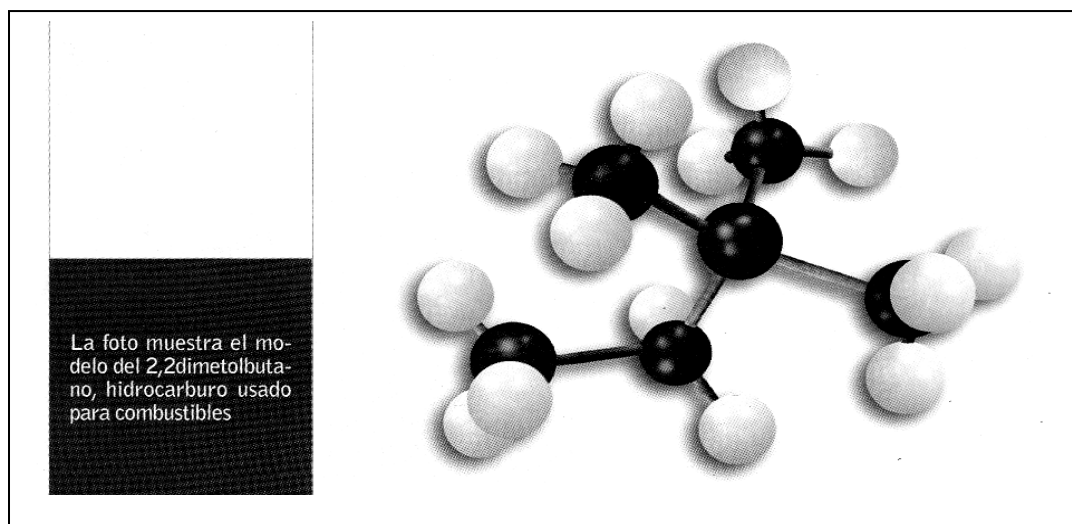


Fig. 3.2. p 264

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
3.1	EVOCACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
3.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

La figura 3.1 pertenece al capítulo “El interior de la materia”. En este capítulo se explican brevemente los siguientes temas: “cómo están hechas las cosas”, “la naturaleza eléctrica de la materia”, “representación de los átomos”, “los átomos y las propiedades de los materiales”, “ordenando los elementos en la tabla periódica”, “de los átomos a las moléculas”, “uniones químicas”, “fórmulas moleculares”, “sustancias orgánicas e inorgánicas”.

En el apartado de las uniones químicas, el texto comienza haciendo referencia al “modelo de ADN de la página 253” del libro de texto e indica que las “bolillas” de igual color representan átomos de un mismo elemento, así cada bolilla de un color representa un tipo de átomo diferente y, las “varillas” que unen las bolillas sirven como “imágenes o modelos” para representar las uniones que existen entre los átomos. Para ilustrar esto, el texto hace referencia a la figura 3.1, indicando que las bolillas rojas –las oscuras en esta figura- en un modelo molecular representan átomos de oxígeno; las bolillas negras representan átomos de carbono y, las blancas, átomos de hidrógeno, así se pueden armar diferentes modelos de moléculas, uniendo diferentes átomos como se indica en la figura 3.1.

Al igual que en las figuras 1.1 –figura 1 del libro de texto 1- y 2.1 –figura 1 del libro de texto 2-, podríamos considerar que se recurre a la evocación de hechos cotidianos, ya que a partir del modelo de bollitas de colores unidas por varillas, se representan las uniones de los diferentes átomos para formar moléculas. Esto constituye una buena estrategia para llevar al plano concreto entes abstractos.

Respecto al grado de iconicidad, podemos decir que se trata de un modelo de bolas. En cuanto al vínculo texto – imagen, se trata de una relación denotativa, ya que el texto insta una correspondencia entre los elementos de la imagen –es decir las bolillas y las varillas que las unen- y los contenidos representados –los átomos y las uniones entre ellos- de manera que la imagen y el texto forman una unidad. Tal vez esta sea la razón por la que no es necesario que la figura posea etiqueta verbal.

Según Carney y Levin (2002, citado en Pérez de Eulate y otros, 1999) esta imagen cumple la función interpretativa, pues hace uso de analogías a fin de aclarar conceptos abstractos.

De la estructura de la imagen, podemos decir, según Krees y van Leeuwen (1996, citado en Otero y Greca, 2003), que tiene estructura conceptual ya que representan relaciones entre átomos para formar moléculas; además son de carácter abstracto porque justamente, remiten a conceptos abstractos.

Más adelante en el texto, en el capítulo “La materia y sus cambios”, bajo el título de enlaces químicos, se refiere explícitamente a las reacciones químicas, indicando que los cambios químicos suceden debido a que las uniones o enlaces entre los átomos de los reactivos se reordenan para formar uniones nuevas en los productos.

Este concepto se explica en el texto a través de la ecuación química siguiente:



El texto explica la reacción entre las moléculas de A_2 y B_2 para formar las nuevas moléculas. Asimismo, el texto sugiere trabajar en clase con modelos moleculares –clips de papel, pelotitas de ping pong, etc.- para apreciar en el espacio los enlaces rotos y los formados. Como ejemplo de esto, se incluye la figura 3.2 con la siguiente etiqueta verbal nominativa: “la foto muestra el modelo del 2,2 – dimetilbutano, hidrocarburo usado para combustibles.”

.La función de la secuencia didáctica en la que aparece esta imagen es la descripción de cómo construir modelos moleculares.

El grado de iconicidad corresponde a una fotografía del modelo de bolas y varillas. Consideramos que la relación entre texto e imagen, es connotativa (Perales y Jiménez, 2004) pues el texto no menciona los elementos incluidos en la ilustración, tal vez por la contigüidad espacial entre ambos. Según Otero y otros (2003) esta imagen tiene la función de instrumento ilustrativo y además reducir la abstracción del discurso verbal. Por su parte, Carney y Levin (2002, citado en Pérez de Eulate y otros, 1999) consideran que esta imagen –al igual que la anterior- cumple la función interpretativa, pues hace uso de analogías a fin de aclarar conceptos abstractos.

De la estructura de la imagen, según Krees y van Leeuwen (1996, citado en Otero y Greca, 2003), ésta posee –al igual que la imagen anterior- estructura conceptual ya que representan relaciones entre átomos para formar moléculas; además son de carácter abstracto porque justamente, remiten a conceptos abstractos.

La etiqueta verbal de esta figura es nominativa, pues se identifican los elementos de la ilustración.

Libro de Texto N° 4	Nivel: 7° EGB (12 años)
Lara, G., Nisenholc, R., Sellés-Martínez, J., Victoria, C. (2005). <i>Ciencias Naturales 7</i> . Buenos Aires: Tinta Fresca	

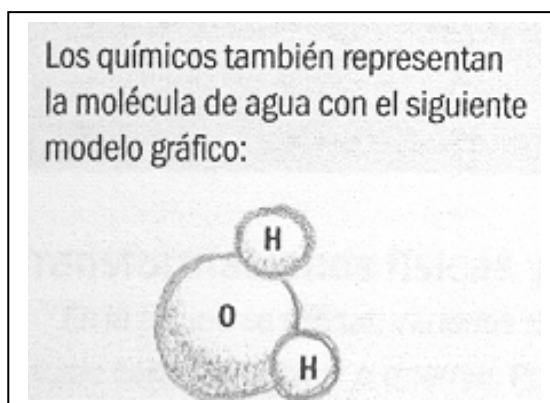


Fig. 4.1. p 73

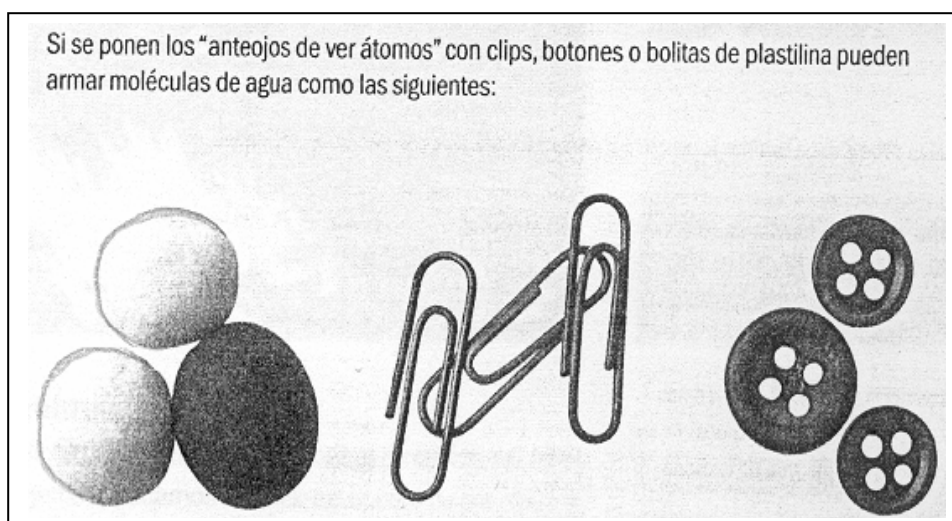


Fig. 4.2. p 73

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
4.1	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
4.2	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA

El capítulo del libro donde aparecen estas imágenes se llama “Las Ciencias Naturales en la cocina”. Este capítulo trata los temas “la composición íntima de los alimentos y otros materiales”, “transformaciones físicas y químicas en los alimentos y en otros materiales”, “combustión en la cocina”, “elaboración de alimentos” y “sustancias simples y compuestas”. Todos estos temas son abordados relacionándolos con alimentos y elementos de uso cotidiano en la cocina, lo que lo hace más atractivo e interesante.

La función de la secuencia didáctica en la que aparecen ambas ilustraciones, es definición. En ambos casos, el texto define al agua como una sustancia compuesta, sin embargo se utilizan diferentes modelos.

En este punto es importante destacar que en todos los casos, cuando representan moléculas se hace hincapié en que son modelos, ya sean “modelos químicos” –la figura 4.1 es un ejemplo, y también las fórmulas moleculares- o “modelos escolares” –la figura 4.2 es un ejemplo de ellos últimos en función de objetos conocidos, tales como clips, botones y bolas, para comprender la estructura de la molécula de agua.

El texto también hace referencia a colocarse “los anteojos de ver átomos”, esto sin duda para hacer notar que no es posible ver los átomos a simple vista y que se necesitan anteojos “especiales” que por cierto, no existen.

En ambas figuras –4.1 y 4.2- la relación con el texto es denotativa y la etiqueta verbal, nominativa.

Es importante que el texto haga referencia a los modelos, ya sean “modelos químicos” –modelos científicos- y “modelos escolares” –dibujos figurativos, como la figura 4.2- para que los alumnos sepan que los átomos, moléculas, iones, etc. son entidades no observables, no perceptibles y los químicos para estudiarlos elaboran modelos teóricos –modelos científicos- y el profesor en el aula puede adaptar esos modelos al nivel cognitivo de sus alumnos y así, elaborar modelos didácticos –modelos escolares-.

La manera de abordar el tema en este capítulo es muy innovadora, ya que en todo momento se relaciona con lo que sucede en una cocina y además se establece una relación entre estos fenómenos y los modelos químicos y escolares. De esta forma estudiar este tema se hace más interesante, ameno y de fácil interpretación para el nivel escolar al que está dirigido.

Libro de Texto N° 5	Nivel: 7° EGB (12 años)
Aristegui, R., Fernández, E., Franco, R. y Valli, R. (2002). <i>Ciencias Naturales</i> 7. Buenos Aires: Editorial Santillana.	

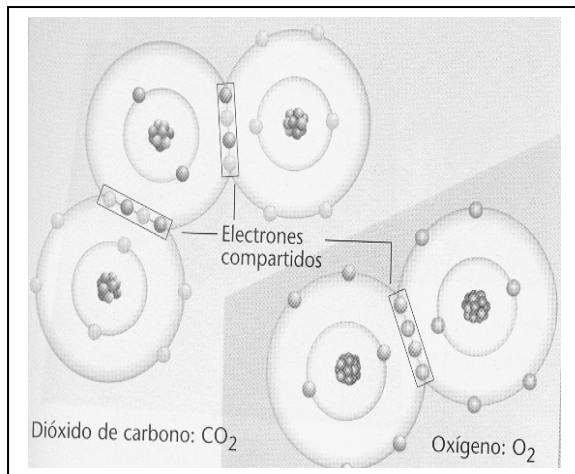


Fig. 5.1 p 71

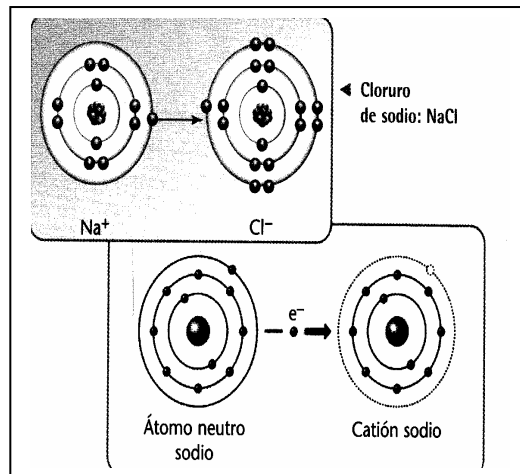


Fig. 5.2 p 71

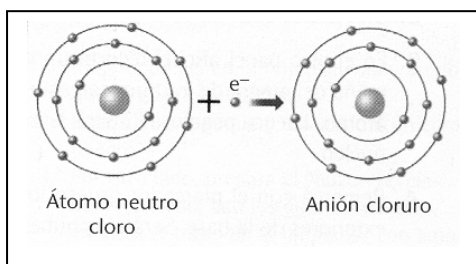


Fig. 5.3 p 71

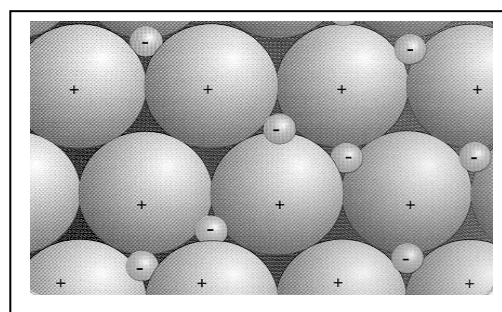


Fig. 5.4 p 71

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
5.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
5.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
5.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
5.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA

Las figuras precedentes se presentan en el capítulo “Los sistemas materiales”. En este capítulo se tratan brevemente los siguientes temas: “los materiales y sus propiedades”, “sustancias y mezclas”, “separación de los componentes de una mezcla”, “naturaleza atómica de la materia” y “las reacciones químicas”.

Las imágenes que se presentan en este texto corresponden al apartado “naturaleza atómica de la materia” y se utilizan para representar a los átomos y las uniones entre ellos. Estas imágenes representan acciones o magnitudes inobservables, es decir los átomos, la unión entre los mismos, los iones.

La función de la secuencia didáctica en la figura 5.1 la aplicación y en las restantes figuras es la descripción, pues el texto describe cómo se forma un anión, un catión y un compuesto iónico; finalmente describe cómo se forma un enlace metálico.

La relación entre el texto e imagen es connotativa, ya que el texto describe los contenidos de las imágenes pero no establece la correspondencia con los elementos de las figuras.

En cuanto a las etiquetas verbales, a excepción e la última figura, todas poseen etiquetas nominativas.

Consideramos que la información que brinda el texto es escasa y, si sumamos la abstracción de las imágenes, creemos que son elevadas las demandas cognitivas para un alumno de 12 años.

Comparando estas imágenes con las anteriores, podemos concluir que poseen un alto nivel de abstracción -es decir poseen menor grado de iconicidad que las anteriores- para los alumnos de 12 años, a los que está dirigido el texto.

Con respecto a la estructura gramatical de las imágenes, para Krees y van Leeuwen (1996, citado en Otero y Greca, 2003) estas imágenes tendrían estructura conceptual, ya que representan relaciones y características fijas entre átomos y iones, asimismo son de carácter abstracto porque remiten a conceptos abstractos.

Libro de Texto N° 6

Nivel: 8° EGB
(13 años)

Aristegui, R., Barderi, M., Cittadino, E., Delmonte, J., Fernández, E., Granieri, P., Morales, E., Rinaldi, M., y Schipani F. (1997). *Ciencias Naturales 8*. Buenos Aires: Editorial Santillana.

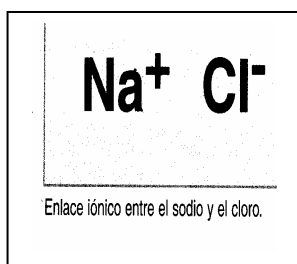


Fig. 6.1 p 90

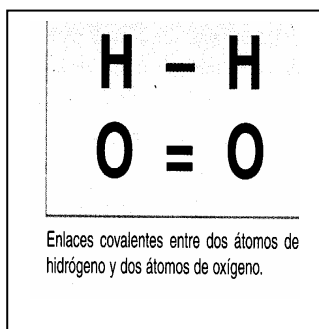


Fig. 6.2 p 90

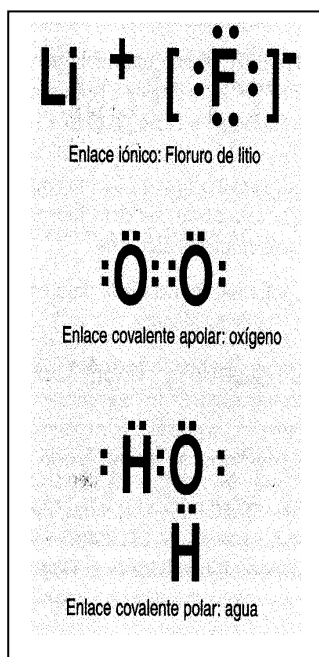


Fig. 6.3 p 92

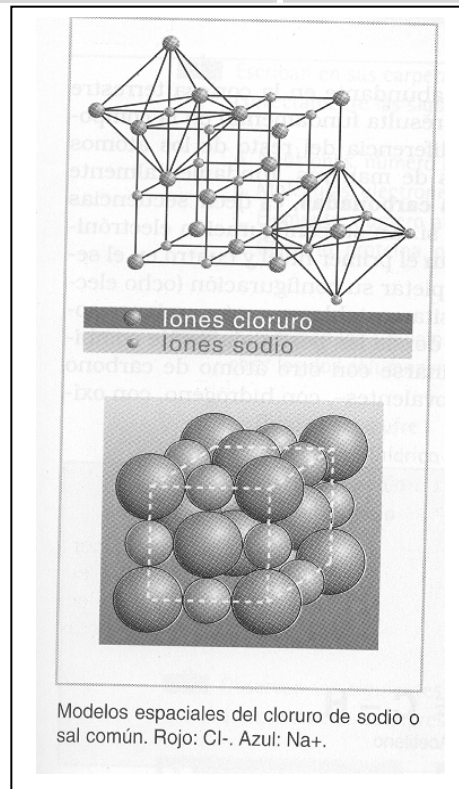


Fig. 6.4 p 93

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
6.1	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
6.2	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
6.3	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
6.4	APLICACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (VARILLAS Y BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

Las imágenes de este tema están incluidas en el capítulo “Composición de la materia”. En este capítulo se tratan entre otros, los conceptos “materia, cuerpos y sustancias”, “mezclas y sustancias puras”, “el átomo”, “los elementos químicos”, “electrones y orbitales”, “uniones entre átomos”, “clasificación de los elementos químicos”. Todos estos temas son abordados de forma muy sintética.

El elevado grado de abstracción de estas imágenes, acompañadas de etiquetas verbales nominativas es decir que sólo identifican los elementos de las ilustraciones y, sumado a que no existe una explicación previa para la interpretación de estos modelos –en ningún momento explica por ejemplo que un guión indica un par de electrones compartidos, ni tampoco qué diferencia hay entre el anión cloruro y el anión fluoruro- hacen que estas imágenes cumplan una función meramente ilustrativa. De esta manera, estas imágenes no ayudan a la comprensión de conceptos, al contrario pensamos que la dificulta.

Así mismo, en estas imágenes, no se observa una relación explícita entre las imágenes y el texto. Éste describe los contenidos sin mencionar su correspondencia con los elementos de la ilustración, las relaciones las debe establecer el lector por lo tanto se establece una relación connotativa entre texto e imagen que en este caso, dificulta la interpretación.

Según Pérez de Eulate y otros, (1999) en este caso, el texto escrito es el que aporta el contenido total de la información y la imagen cumple el papel de ilustración.

Nosotros consideramos que es complejo para el estudiante de 13 años –al que está dirigida estas figuras- interpretar estas imágenes ya que son considerablemente abstractas para un alumno que todavía no ha alcanzado un pensamiento formal.

Según Krees y van Leeuwen (1996, citado en Otero y Greca, 2003), las imágenes anteriores tienen estructura conceptual ya que representan relaciones y características fijas entre átomos, enlaces, iones; además son de carácter abstracto porque remiten a conceptos abstractos.

3.1 Resultados globales para los libros de texto para estudiantes de 12 años

La aplicación de las variables taxonómicas previamente descritas, a la muestra formada por los seis libros de texto anteriores, revela ciertas regularidades en cuanto a las imágenes usadas para la enseñanza de los enlaces químicos.

En la tabla 9 se exponen los resultados conjuntos de las categorías analizadas.

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
1.1	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (OTRO)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
1.2	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
2.1	EVOCACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
2.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
3.1	EVOCACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
3.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
4.1	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
4.2	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
5.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
5.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
5.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
5.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
6.1	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
6.2	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (DIAGRAMA DE RAYAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
6.3	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
6.4	APLICACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

Tabla 9. Resultados conjuntos de las categorías analizadas en los libros de texto de 12 años.

En las tablas 10 a 13 se ha contabilizado el número de imágenes en cada categoría.

FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	CANTIDAD DE IMÁGENES
DEFINICIÓN	7
DESCRIPCIÓN	6
EVOCACIÓN	2
APLICACIÓN	1
TOTAL	16

Tabla 10. N° de imágenes en la categoría de la función de la secuencia didáctica en los libros de texto de 12 años.

GRADO DE ICONICIDAD	MODELO	CANTIDAD DE IMÁGENES	TOTAL
DIBUJO FIGURATIVO	BOLAS	4	9
	BOLAS Y VARILLAS	2	
	OTROS	3	
DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS	NIVELES ELECTRÓNICOS	3	5
	OTROS	2	
DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS	LEWIS	2	3
	DIAGRAMA DE RAYAS	1	
TOTAL			17

Tabla 11. N° de imágenes en la categoría del grado de iconicidad en los libros de texto de 12 años.

RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	CANTIDAD DE IMÁGENES
CONNOTATIVA	10
DENOTATIVA	3
SINÓPTICA	3
TOTAL	16

Tabla 12. N° de imágenes en la categoría de la relación con el texto principal en los libros de texto de 12 años.

ETIQUETA VERBAL	CANTIDAD DE IMÁGENES
SIN ETIQUETA	4
NOMINATIVA	11
RELACIONAL	1
TOTAL	16

Tabla 13. N° de imágenes en la categoría de la etiqueta verbal en los libros de texto de 12 años.

El análisis de estos resultados revela en relación a la *función de la secuencia didáctica en la que aparecen estas figuras*, que predomina la definición y la descripción. De aquí se infiere que si los libros de este nivel usan las imágenes principalmente para definir y describir conceptos, es que prevalece un discurso expositivo o que, al menos, pretenden dar realce a estas definiciones y descripciones. Sería deseable que el libro de texto fuera un documento más abierto y heterogéneo (relatando hechos, planteando preguntas, interpretando fenómenos, etc.) para que fuera trasmisor de una imagen de ciencia menos dogmática.

Tal como lo expresáramos en Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios (2008), debemos destacar, por otra parte, la falta de uniformidad en los resultados en cuanto al grado de *iconicidad*, de modo que los libros de texto de un determinado nivel de enseñanza, en este caso EGB 3, presentan ilustraciones que se corresponden con exigencias conceptuales muy variadas, desde los modelos de bolas y dibujos figurativos (por ejemplo, evocación de niños cogidos de la mano y que se cambian de compañeros para representar a la reacción química) hasta los modelos electrónicos, que, además del nivel atómico, exigen una comprensión de las configuraciones electrónicas de los átomos involucrados. En la tabla 11 se muestra el número de imágenes que responde a cada uno de los modelos de representación molecular. El total de este número de imágenes, que se obtiene al sumar las cifras de la columna derecha de esta última tabla, es 17, sin embargo la cantidad de imágenes analizadas es 16; esta diferencia se debe a que una de las imágenes, identificada como 6.4, contiene dos representaciones moleculares conjuntas.

Esto es evidente en la tabla 11, donde se observa el número de imágenes correspondiente a cada tipo de representación. Se puede afirmar cierta tendencia mayoritaria al modelo de bolas y a los dibujos figurativos, aunque no es en absoluto despreciable la heterogeneidad de resultados en esta categoría.

Parece ser que los autores de los libros, o al menos de las ilustraciones, consideran que los dibujos figurativos y los modelos de bolas facilitan el aprendizaje aportando un contexto de referencia a través de analogías con la realidad y haciendo evocaciones con hechos cotidianos, con la intención de evidenciar relaciones o ideas abstractas, no evidentes por sí mismas, como son las uniones entre los átomos. Podría parecerles una forma de facilitar la comprensión de conceptos difíciles y abstractos en alumnos que poseen un pensamiento concreto (Matus

Leites, 2006). No obstante, habría que ser cautos a la hora de elegir las analogías y los modelos, ya que pueden inducir errores conceptuales en aquellos alumnos que no son capaces de ver las diferencias entre el análogo que se utiliza de referencia y el objeto o concepto que se quiere representar. Llama la atención, por ejemplo, en el caso de la representación de moléculas mediante uniones de *clips*, que las ilustraciones correspondientes (identificadas como 1.1. y 1.2.) usan el mismo clip para representar a los átomos de todos los elementos (el mismo para el átomo de carbono que para el átomo de oxígeno). Es cierto que se diferencian en el color, pero no creemos que sea suficiente esta codificación (los átomos de distintos elementos se diferencian también en el tamaño, propiedades, etc.), pudiendo inducir errores conceptuales en el alumnado.

Respecto a la *relación que la imagen guarda con el texto principal*, sí que hay en este sentido bastante uniformidad, pues abundan en nuestro análisis imágenes que tienen predominantemente una relación connotativa con el texto principal, es decir, que éste describe los contenidos sin establecer su correspondencia con los elementos incluidos en la ilustración, sino que esta relación la debe establecer el lector. En este caso, la imagen cumpliría una función ilustrativa. Hay que recordar que, como señala Perales Palacios (2006), la concurrencia entre palabras e imágenes mejora el aprendizaje.

En cuanto a las *etiquetas verbales*, prevalecen las figuras con etiquetas nominativas, es decir aquellas que con letras o palabras identifican algunos elementos de la imagen.

El predominio de relaciones connotativas entre imágenes y texto y de etiquetas nominativas es coherente con la idea de que, cuanto mayor es la iconicidad de una imagen, menos explicaciones se requieren para su comprensión (Perales y Jiménez, 2002). Sin embargo, dadas las características de este contenido, los enlaces químicos, y las dificultades para su aprendizaje, estas particularidades encontradas no ayudarían a la comprensión (Matus Leites, 2006).

Con respecto al *contenido científico que sustenta a las imágenes*, es decir, el enlace químico, se puede señalar que en ningún caso figura como tema o capítulo independiente. Los epígrafes en los que se estudia son *transformaciones de la materia, transformaciones y reacciones químicas, el interior de la materia, la composición íntima de los alimentos, los sistemas materiales, y composición de la materia*. Por tanto, los capítulos están más relacionados con el estudio de la

composición de la materia y sus transformaciones que con el enlace químico en sí mismo.

En general Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios (2008) sostienen que todo parece sugerir:

- que no hay uniformidad en cuanto al nivel conceptual que se trata de transmitir o reforzar mediante imágenes en los libros de texto;
- que, por otro lado, sea cual sea el nivel conceptual propugnado, el discurso utilizado resulta ser fundamentalmente expositivo con escasas referencias a las dudas, preguntas, interrogantes, etc.; y,
- que hay un exagerado optimismo respecto a la facilidad con que el alumnado de estas edades puede procesar las imágenes.

4. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES DE ENLACE QUÍMICO EN LOS LIBROS DE TEXTO PARA ESTUDIANTES DE 15 AÑOS

En este apartado se realiza el análisis de las imágenes de enlace químico presentes en seis libros de texto de polimodal, correspondientes a los actuales 4^o, 5^o y 6^o año de secundaria).

Libro de texto N° 7	Nivel: 1° de Polimodal (15 años)
Fernández Serventi, H. (1981). <i>Química general e inorgánica</i> . Buenos Aires: Ed. Losada.	

ÁTOMO DE SODIO 2-8-1 + ÁTOMO DE CLORO 2-8-7 → IÓN SODIO 2-8 + IÓN CLORO 2-8-8
 CLORURO DE SODIO
 Na^+ 2-8 Cl^- 2-8-8
 IÓN SODIO IÓN CLORO
 $[Na^+]$ 2-8 $[Cl^-]$ 2-8-8
 IÓN SODIO IÓN CLORO

Fig. 7.1 p 155

$H \cdot + H \cdot \rightarrow H \overset{\cdot\cdot}{O} H$

$\begin{matrix} \cdot\cdot & & \cdot\cdot \\ N \cdot & + & \cdot N \\ \cdot\cdot & & \cdot\cdot \end{matrix} \rightarrow \begin{matrix} \cdot & & \cdot \\ N & \cdot\cdot & \cdot N \\ \cdot & & \cdot \end{matrix}$
 $N \equiv N$
 N_2

Fig. 7.2 p 157 Fig. 7.3 p 158 Fig. 7.4 p 158

$\begin{matrix} x & x & & \cdot\cdot \\ & x & & \cdot\cdot \\ x & x & O & \cdot\cdot \\ x & x & \cdot\cdot & \cdot\cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot\cdot & & & \cdot\cdot \end{matrix} \quad S \rightarrow O \quad SO_2$

Dióxido de azufre

Fig. 7.5 p 159

Amoníaco

$\begin{matrix} H \\ | \\ H-N-H \end{matrix}$

Fórmula desarrollada

$\begin{matrix} H & & H \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ H \cdot & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot \\ & \cdot & \cdot \end{matrix}$

Fórmula electrónica

Metano

$\begin{matrix} H \\ | \\ H-C-H \\ | \\ H \end{matrix}$

Fórmula desarrollada

$\begin{matrix} & & H \\ & & \cdot & \cdot \\ H & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \\ & & \cdot & \cdot \end{matrix}$

Fórmula electrónica

Fig. 7.6 p 158

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
7.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
7.2	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
7.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
7.4	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS, RAYAS Y MOLECULAR)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
7.5	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS, RAYAS Y MOLECULAR)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
7.6	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

Las imágenes precedentes forman parte del capítulo “Uniones Químicas” de un libro que pertenece al sistema educativo anterior, precisamente al tercer año de secundaria, es decir a primer año de Polimodal.

El capítulo trata los siguientes temas: unión iónica, unión covalente, unión covalente coordinada, polaridad en el enlace covalente, electronegatividad, formas de las moléculas, unión metálica y uniones intermoleculares.

El grado de iconicidad de las imágenes es variado y con diferentes grados de abstracción, ya que se presentan los modelos de Lewis, CLOA, por niveles electrónicos, diagrama de rayas y molecular.

Pensamos que esta variedad de modelos si se trabajan de manera inadecuada, es decir si el profesor da por supuesto que los alumnos conocen los códigos de estas imágenes y no dedica suficiente tiempo para hacerlos explícitos, pensamos que podrían ser un punto desfavorable para el aprendizaje de los alumnos. Pues en el afán de que el alumno comprenda más fácilmente, muchas veces se lo recarga, se lo abruma con diferentes modelos que provocan el efecto contrario: es decir se le dificulta la comprensión ya que le exige diferentes demandas cognitivas para los modelos que tienen diferente complejidad.

Sin embargo, en este tema es de esperar la presencia de variados modelos, ya que éstos como imagen particularizada y simplificada de la realidad, son incompletos respecto al referente, que en la mayoría de los casos se trata de un sistema complejo (Guevara y Valdez, 2004).

Es muy común que en el tema de los enlaces químicos existan diferentes modelos, ya que en cada uno de ellos se muestran diferentes aspectos del objeto (enlace químico) que se desea modelar.

Un ejemplo de lo expresado, lo constituye la imagen 7.1 que podríamos catalogarla como una buena forma de representar el enlace iónico, ya que se establecen tres modelos: por niveles electrónicos, según Lewis y la representación iónica para expresar un proceso complejo.

Es conveniente destacar que cuando el texto explica el enlace iónico, establece que “...aparece entre los átomos transformados en iones una fuerza electrostática que los mantiene unidos formando una molécula de cloruro de sodio...”

En este caso se establece un error conceptual al considerar que los compuestos iónicos forman moléculas. Por otra parte, tampoco se presenta alguna figura que muestre un cristal iónico.

La función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones es la descripción, con excepción de la última figura que la consideramos aplicación, pues el texto no hace referencia a la misma, sino que aparece en el mismo aparentemente con la idea de mostrar otros compuestos que presentan el enlace covalente.

En las figuras se describen los diferentes tipos de enlaces químicos con ejemplos específicos, lo que justificaría una relación denotativa entre las imágenes y el texto.

Con respecto a las etiquetas verbales, la mayoría poseen etiquetas nominativas es decir que poseen palabras que identifican algunos elementos de las ilustraciones.

La figura 7.4 presenta un error conceptual: la configuración externa del átomo de nitrógeno, ya que se representan 2 pares de electrones apareados y un electrón libre, cuando lo correcto es representar 3 electrones desapareados y un par de electrones libres. Lo mismo sucede con los átomos de oxígeno, azufre y carbono en las figuras 7.5 y 7.6, respectivamente. Muchas veces se incurre en este error con el fin de facilitar el enlace entre los átomos.

En cuanto al enlace metálico, el texto solamente se limita a dar una explicación teórica pero no presenta ninguna imagen.

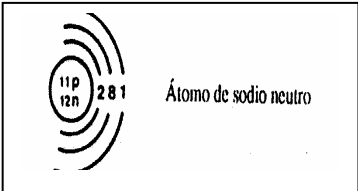
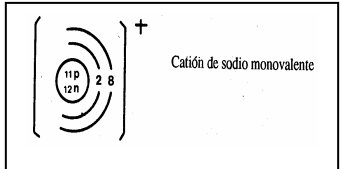
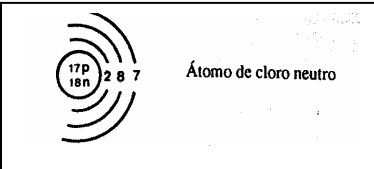
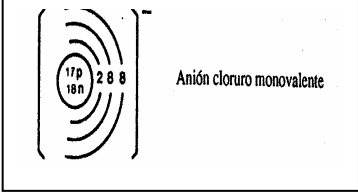
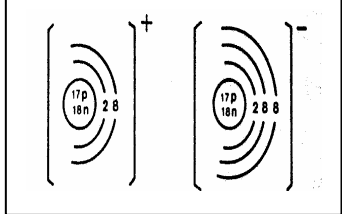
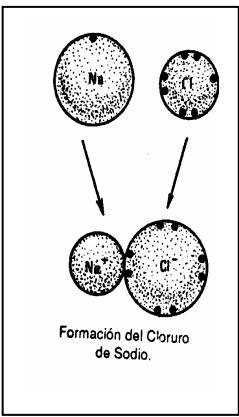
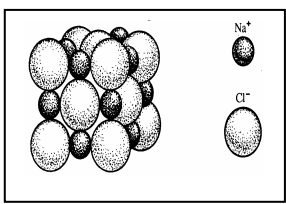
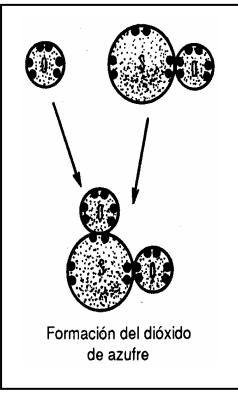
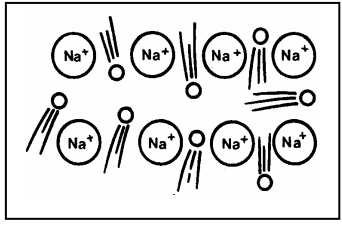
Libro de texto N° 8		Nivel: 1° de Polimodal (15 años)
Mautino, J. M. (1992). <i>Química 4. Aula Taller</i> . Buenos Aires: Ed. Stella.		
 <p style="text-align: center;">Átomo de sodio neutro</p>	 <p style="text-align: center;">Catión de sodio monovalente</p>	 <p style="text-align: center;">Átomo de cloro neutro</p>
Fig. 8.1 p.199	Fig. 8.2 p.199	Fig. 8.3 p.200
 <p style="text-align: center;">Anión cloruro monovalente</p>		$\text{Na} + \cdot\ddot{\text{Cl}}: \longrightarrow \text{Na}^+[:\ddot{\text{Cl}}:]^-$
Fig. 8.4 p.200	Fig. 8.5 p.200	Fig. 8.6 p.200
 <p style="text-align: center;">Formación del Cloruro de Sodio.</p>		$\cdot\ddot{\text{Cl}}: + \cdot\ddot{\text{Cl}}: \longrightarrow :\ddot{\text{Cl}}:\ddot{\text{Cl}}:$
Fig. 8.7 p.200	Fig. 8.8 p.200	Fig. 8.9 p.202
<p>Unión covalente coordinada</p> <p>Par de electrones libres \rightarrow $\text{S}::\ddot{\text{O}}:$ Unión covalente doble</p>		
Fig. 8.10 p.202		
<p>Dióxido de carbono: $\text{O}::\text{C}::\ddot{\text{O}}:$</p> <p>Agua: $\text{H}::\ddot{\text{O}}::\text{H}$ Monóxido de azufre: $\text{S}::\ddot{\text{O}}:$</p> <p>Metano: $\text{H}::\ddot{\text{C}}::\text{H}$</p> <p>Cloruro de hidrógeno: $\text{H}::\ddot{\text{Cl}}:$</p>	 <p style="text-align: center;">Formación del dióxido de azufre</p>	
Fig. 8.11 p.203	Fig. 8.12 p.207	Fig. 8.13 p.207
		
Fig. 8.14 p.208		

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
8.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
8.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
8.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.5	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.6	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
8.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
8.9	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
8.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.11	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.12	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
8.13	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.14	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA

Las imágenes precedentes figuran en el capítulo “Uniones Químicas” de un libro que pertenece al tercer año de secundaria del sistema educativo anterior, es decir primer año de Polimodal (actualmente, cuarto año de secundaria).

El capítulo aborda los siguientes temas: Regla del Octeto de Lewis, notación de Lewis, enlace iónico, propiedades de los compuestos iónicos, enlace covalente, polaridad del enlace covalente, electronegatividad, enlace covalente coordinado, propiedades de los compuestos covalentes, transición del enlace covalente al iónico, enlace metálico, propiedades de los metales, atracciones intermoleculares.

Podemos advertir que, en general la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes es la descripción seguida de la aplicación, pues el texto desarrolla los conceptos de enlace iónico y covalente en forma descriptiva y con ejemplos específicos. Consideramos que esto fundamenta que la relación predominante entre el texto y las imágenes sea connotativa, ya que no se establece una relación explícita entre ambos, lo que en nuestra opinión dificulta la comprensión por parte del alumno, ya que estas relaciones las tiene que establecer él mismo.

La figura 8.7 representa dos esferas con puntos, simbolizando de esta manera a los átomos de sodio y cloro con sus respectivos electrones del último nivel. Ambos átomos se muestran separados y luego mediante una flecha indican a los átomos, ya transformados en iones, unidos formando cloruro de sodio.

Este tipo de imagen no nos parece adecuada y consideramos que puede introducir errores conceptuales, ya que no se muestra claramente cómo los átomos de sodio y cloro se transforman en iones.

Otra de las figuras que no nos parecen adecuadas es la 8.6, en la que no se muestra la transferencia del electrón desde el átomo de sodio al átomo de cloro.

Un aspecto a destacar es con respecto a la notación de Lewis de algunos átomos, por ejemplo en el oxígeno, azufre y nitrógeno. Al comienzo del capítulo, se hace referencia a algunos ejemplos, incluso para estos elementos en los cuales la distribución de los electrones del último nivel de energía están distribuidos según la configuración electrónica por subniveles de energía, dada por la regla de las diagonales, es decir por ejemplo en el caso del azufre presenta dos pares de electrones apareados y dos electrones desapareados, completando así los seis electrones en el último nivel de energía. Vale la misma consideración para el oxígeno. Sin embargo, cuando se realiza la unión química, vemos que se representan a los seis electrones del último nivel de energía, tanto para el azufre como para el oxígeno, como si estuvieran apareados, es decir tres pares.

Esta distribución es al parecer, para facilitar el enlace entre los átomos, pero sin duda que puede provocar errores conceptuales.

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
9.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
9.2	DEFINICIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OM)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
9.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
9.4	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
9.5	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
9.6	APLICACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

Las imágenes presentadas anteriormente figuran en el capítulo denominado “Uniones Químicas” de un libro de 1° año de Polimodal, es decir destinado a estudiantes de 15 años.

El capítulo desarrolla los siguientes temas: por qué se unen los átomos, la Teoría del Octeto, propiedades de los diferentes enlaces, los compuestos iónicos, la unión metálica, el enlace covalente, interacciones entre las moléculas. Como novedad, este libro incluye en cada capítulo el apartado “temas con imágenes” y, en este caso, se refiere a “moléculas en tridimensión” y a “propiedades de las sustancias moleculares”.

En un comienzo, el texto describe cómo se produce el enlace entre dos átomos de hidrógeno, considerando el acercamiento de ambos átomos hasta que se produce el solapamiento de ambos orbitales atómicos para formar el orbital molecular. Ver figuras 9.1 y 9.2. De esta manera, vemos que en este texto aparece el concepto de orbital, lo que exige mayores demandas cognitivas al alumno.

La función de la secuencia didáctica en la que aparecen las ilustraciones más predominantes es la definición, seguida de la descripción. La relación entre las imágenes y el texto es connotativa, ya que éste no establece una relación directa con las imágenes, sino que las debe establecer el lector. La mayoría de las imágenes poseen etiquetas nominativas, es decir palabras que identifican los elementos de la ilustración.

La figura 9.3 muestra el enlace entre dos iones, según el modelo de Lewis, pero no se hace referencia alguna a la formación de dichos iones ni a las cargas de los mismos. Tampoco se hace alusión a los mismos en la figura de al lado, donde se indica la transferencia de electrones entre los átomos, según el modelo de niveles electrónicos. Consideramos que la falta de alusión explícita a los iones respectivos podría dificultar la comprensión del enlace iónico. En la otra figura cuando el texto describe el enlace covalente, éste no explica cómo se produce la compartición de electrones. Por otra parte, se muestran las moléculas de agua y amoníaco según los modelos de niveles electrónicos y Lewis, pero sin establecer una correspondencia entre ambos, lo que consideramos puede dificultar la comprensión del lector. Algo similar a lo anterior, se manifiesta en la figura 9.5, donde el texto solamente define la unión covalente dativa, pero no establece una relación directa y explicativa con la imagen.

La figura 9.6 corresponde a una aplicación de los tres tipos de redes cristalinas metálicas que se pueden encontrar.

En general, suponemos que las imágenes son adecuadas para los alumnos de 15 años, no obstante, consideramos que sería conveniente relacionar los distintos modelos de enlace químico, ya que de esa manera ayudaría a la interpretación de las imágenes.

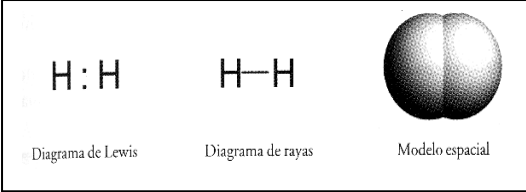

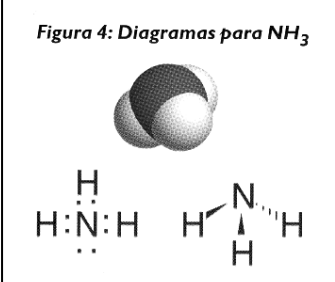
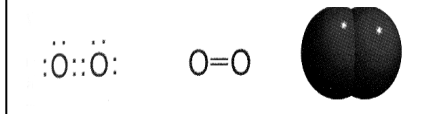


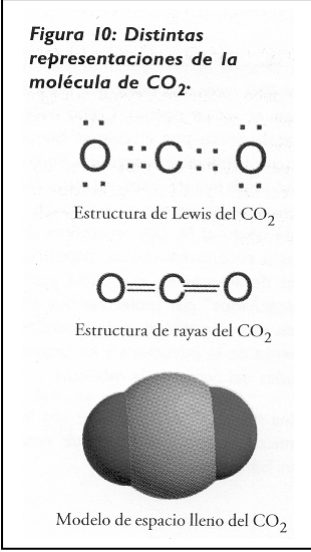
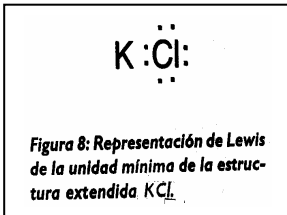
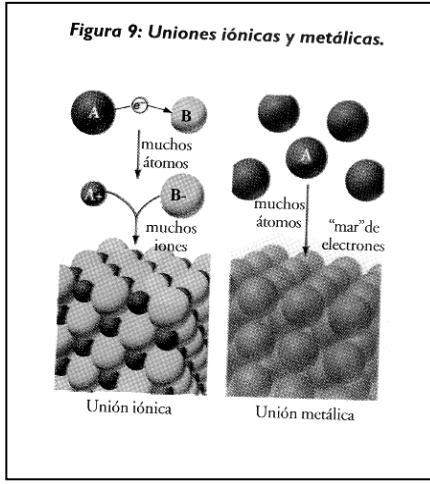
Libro de texto 10		Nivel: 1° de Polimodal (15 años)
Aldabe, S., M., Aramendía, P., Lacreu, L. (2004). <i>Química. Fundamentos</i> . Buenos Aires: Ed. Colihue.		
 <p style="text-align: center;">Fig. 10.1 p.81</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 10.2 p. 81</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Figura 4: Diagramas para NH₃</i></p>  <p style="text-align: center;">Fig. 10.3 p. 82</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 10.4 p. 83</p>	
 <p style="text-align: center;">Fig. 10.5 p. 83</p>	<p style="text-align: center;"><i>Figura 5b: Diagramas para el trióxido de azufre (SO₃).</i></p>  <p style="text-align: center;">Fig. 10.6 p. 88</p>	
<p style="text-align: center;"><i>Figura 10: Distintas representaciones de la molécula de CO₂.</i></p>  <p style="text-align: center;">Fig. 10.7 p. 91</p>	<p style="text-align: center;"><i>Figura 8: Representación de Lewis de la unidad mínima de la estructura extendida KCl.</i></p>  <p style="text-align: center;">Fig. 10.8 p. 89</p>	<p style="text-align: center;"><i>Figura 9: Uniones iónicas y metálicas.</i></p>  <p style="text-align: center;">Fig. 10.9 p. 90</p>

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
10.1	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
10.2	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
10.3	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CUÑAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
10.4	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
10.5	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
10.6	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
10.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
10.8	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
10.9	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

Las imágenes precedentes pertenecen al capítulo "Unión química y estructura molecular" de un libro de 1° año de Polimodal. El capítulo desarrolla los siguientes contenidos: el origen de la estabilidad de la unión química, la teoría de Lewis, uniones químicas en moléculas: unión covalente, covalente polar, covalente múltiple y coordinada. Resonancia. Uniones químicas en estructuras extendidas: uniones iónicas, formación de sólidos iónicos, la unión metálica, sólidos con uniones covalentes localizadas. Representación de moléculas: ventajas y desventajas de los modelos. La geometría molecular: teoría de la repulsión de pares de electrones de valencia (TREPEV): geometría molecular y polaridad, geometría molecular: isomería. La energía de las uniones químicas: energía de enlace y reacciones químicas.

Podemos apreciar que los contenidos sobre enlace químico, se desarrollan con mayor profundidad que en los otros libros de texto del mismo nivel escolar, ya que por ejemplo se hace referencia al modelo atómico actual, al concepto de resonancia, la aplicación de este concepto a diferentes moléculas, la geometría molecular.

Así mismo, a medida que se desarrollan los contenidos, el texto plantea ejercicios-problemas resueltos. Por ejemplo: "¿Cuál es la estructura de Lewis y la geometría molecular del formaldehído (CH_2O), de la hidracina (N_2H_4) y del ión carbonato (CO_3^{2-})?".

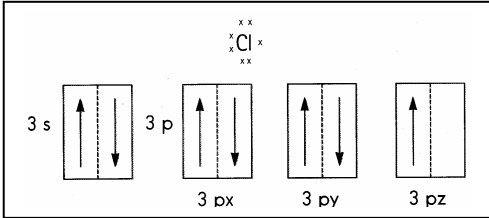
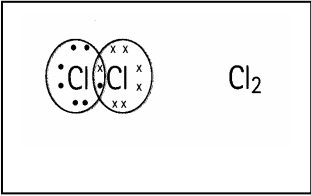
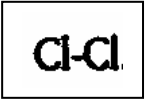
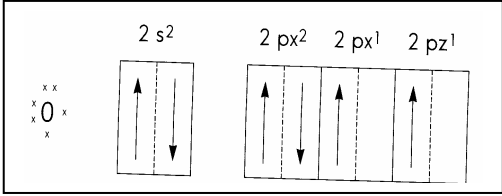
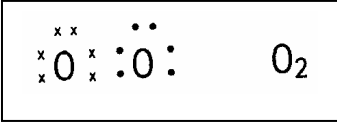
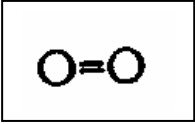
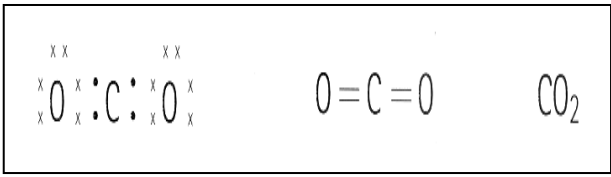
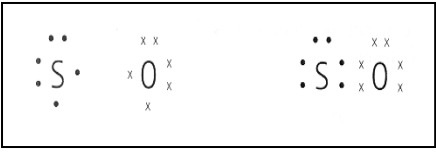
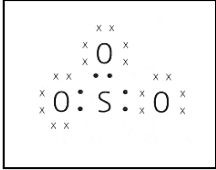
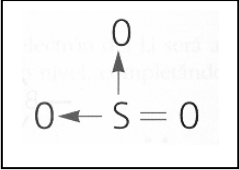
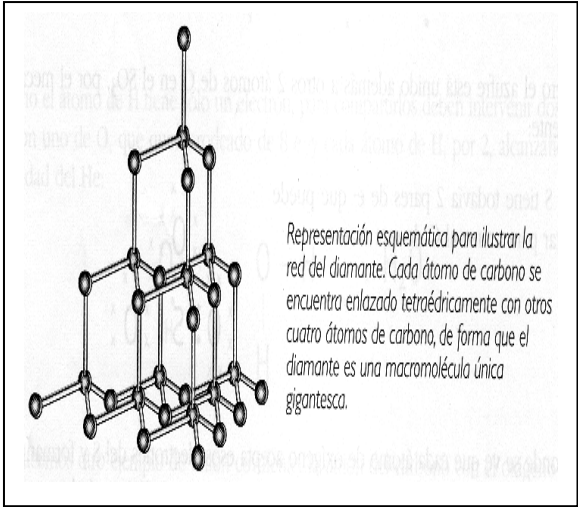
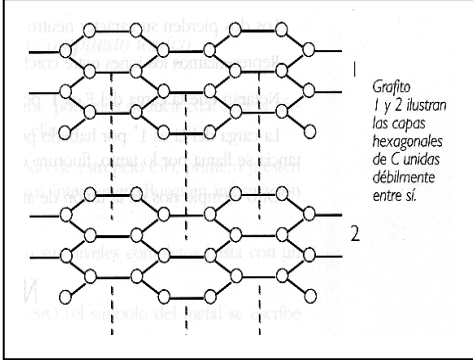
Un apartado del capítulo que nos parece muy interesante y didáctico es el referido a la representación de moléculas: ventajas y desventajas de los modelos. En este apartado, el texto describe las formas utilizadas para representar moléculas, así detalla con sus ventajas y desventajas, los diagramas de Lewis, los diagramas de rayas y los modelos espaciales. Consideramos que esto favorece la comprensión y relación entre los distintos modelos.

La función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes que predomina es la descripción, ya que el texto describe cómo se producen los diferentes tipos de enlace químico con ejemplos concretos.

El grado de iconicidad de las imágenes que prevalece son los modelos de Lewis, diagramas de rayas y modelo fusionado.

En cuanto a la relación texto-imagen están prácticamente equilibradas las relaciones connotativa y denotativa.

A excepción de dos ilustraciones, que no poseen etiqueta verbal, el resto posee etiqueta nominativa con palabras que identifican elementos de la ilustración.

Libro de texto 11		Nivel: 1° de Polimodal (15 años)
Chandías, D. O. T. de, Weitz, C. de (2003). <i>Química</i> . Buenos Aires: Kapelusz.		
 <p style="text-align: center;">Fig. 11.1 p.71</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 11.2 p.71</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 11.3 p.71</p>
 <p style="text-align: center;">Fig. 11.4 p.72</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 11.5 p.72</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 11.6 p.72</p>
 <p style="text-align: center;">Fig. 11.7 p.72</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 11.8 p.73</p>	
 <p style="text-align: center;">Fig. 11.9 p.73</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 11.10 p.73</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 11.11 p.74</p>
 <p style="text-align: center;">Fig. 11.12 p.74</p>		

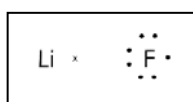


Fig. 11.13 p.75

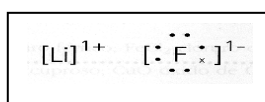


Fig. 11.14 p.75

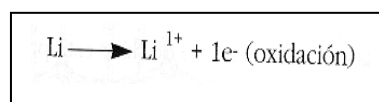


Fig. 11.15 p.76

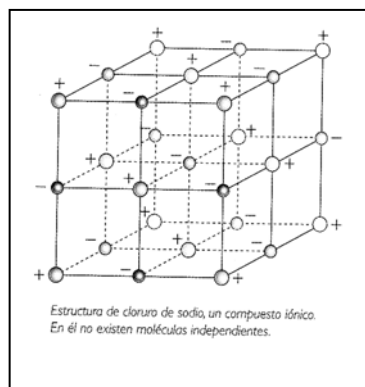


Fig. 11.17 p.78

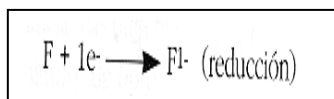


Fig. 11.16 p.76

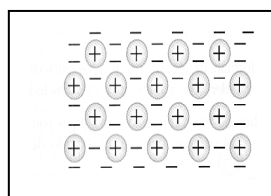


Fig. 11.18 p.83

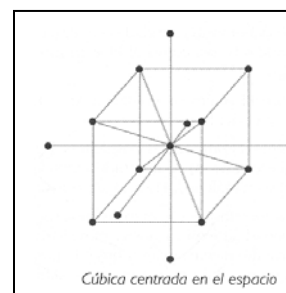


Fig. 11.19 p.73

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
11.1	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
11.2	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y MOLECULAR)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.3	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.4	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
11.5	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y MOLECULAR)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.6	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS, RAYAS Y MOLECULAR)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.8	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.9	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
11.10	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.11	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	CONNOTATIVA	RELACIONAL
11.12	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
11.13	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA

11.14	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.15	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
11.16	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
11.17	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
11.18	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.19	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA

Las imágenes precedentes pertenecen al capítulo “Uniones Químicas” de un libro de polimodal. El capítulo desarrolla los siguientes temas: mecanismo de la unión entre átomos, cristales covalentes, la unión o enlace iónico, deducción de la fórmula de un compuesto iónico, cómo es un sólido iónico, experiencia de laboratorio para la formación y crecimiento de cristales, electronegatividad, moléculas polares, compuestos del carbono, enlace entre los metales, las propiedades de las sustancias se explican por su estructura, las uniones entre moléculas, la forma espacial de las moléculas, los materiales y la conducción de la corriente eléctrica. El capítulo finaliza con un detalle de los conceptos importantes desarrollados y con una ejercitación propuesta.

En cuanto al análisis de las imágenes, podemos decir que la función de la secuencia didáctica en la que aparecen es predominantemente, la descripción, lo cual es esperable, ya que el texto desarrolla los distintos tipos de enlace químico describiéndolos.

La gran mayoría de las imágenes no poseen etiquetas verbales, lo cual es aceptable, ya que como decíamos anteriormente, el texto explica los distintos tipos de enlace químico describiéndolos con ejemplos.

Con respecto a la relación texto – imagen, la mayoría de las imágenes tienen una relación denotativa, es decir que el texto establece la correspondencia entre los elementos de la ilustración y los contenidos representados.



En cuanto a la iconicidad, la mayoría de los modelos utilizados son los de Lewis, rayas y molecular. Nos parece interesante las figuras 11.1 y 11.4 en las que se muestra la configuración electrónica con las “casitas cuánticas” para el último nivel de energía y a la par se muestra su equivalente con el modelo de Lewis. De esta manera se aclara porqué en el modelo de Lewis se disponen los electrones apareados o no. No obstante, en la figura 11.5 los electrones del oxígeno están apareados a fin de, supuestamente, facilitar la visualización de la formación del doble enlace con otro átomo de oxígeno; sin embargo, esta situación no se aclara en el texto y puede provocar dificultades en la comprensión y conducir a errores conceptuales. Algo similar ocurre en la figura 11.8 con el enlace entre el azufre y el oxígeno.

En el enlace iónico, se menciona a los no metales como elementos que poseen gran atracción por electrones.

En este libro de texto, advertimos diferentes aspectos en este capítulo que no aparecen en otros libros. Por ejemplo, el concepto de “número de oxidación”, incluso podemos ver en las figuras 11.15 y 11.16 las semireacciones de oxidación y de reducción para el litio y el flúor, respectivamente. Por otra parte el texto plantea ejercicios por ejemplo: “escribir la notación de Lewis para los elementos S, Al y Br. Indicar cuál será su número de oxidación y representar su ión.”, “representar los enlaces de la molécula de ácido cianhídrico, HCN”, entre otros.

En general, el desarrollo de los contenidos nos parece algo elevado para el nivel al que está dirigido. Tal vez, en lugar de proponer actividades netamente relacionadas con lo teórico, podría plantearse otras del tipo: pequeños trabajos de investigación donde por ejemplo, se analicen las propiedades de determinadas sustancias de la vida cotidiana (óxido de calcio, cloruro de sodio, cobre, etanol, entre otras) en función del tipo de enlace entre sus átomos; analizar porqué el agua sólida tiene menor densidad que el agua líquida, o porqué el dióxido de carbono y el oxígeno se disuelven en agua.

Libro de texto 12	Nivel: 1° de Polimodal (15 años)
Dal Fávero, M., Farré, S., Moreno, P., Olazar, L. y Steinman, M., (2002). <i>Química</i> . Buenos Aires: Puerto de Palos.	

DIFERENTES REPRESENTACIONES ELECTRÓNICAS DE IONES			
SÍMBOLO	ESQUEMA MODELO DE CAPAS	C.E.E.	LEWIS
${}_{19}\text{K}^+$		$3s^2 3p^6$	K^+
${}_{16}\text{S}^{2-}$		$3s^2 3p^6$	$[\text{:}\ddot{\text{S}}\text{:}]^{2-}$

CEE: Configuración electrónica externa (según el modelo atómico moderno)
LEWIS: Estructura de Lewis para el ion

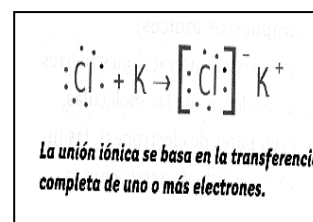


Fig. 12.2 p.94

Fig. 12.1 p.92

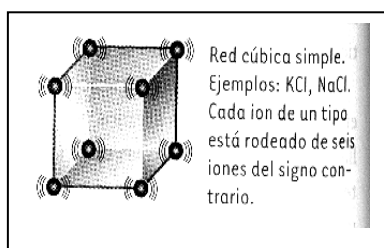


Fig. 12.3 p.94



Fig. 12.4 p.100

Fig. 12.5 p.102

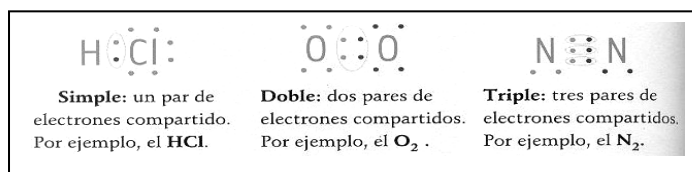


Fig. 12.6 p.103

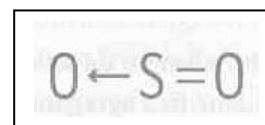
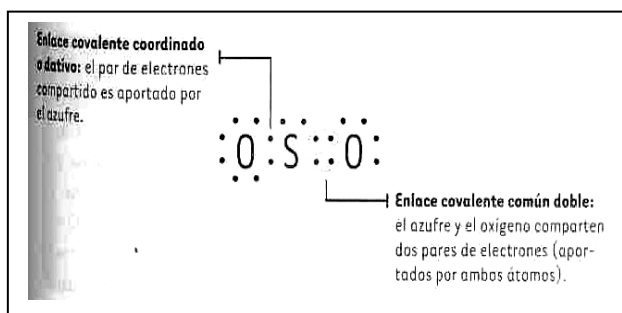


Fig. 12.7 p.103

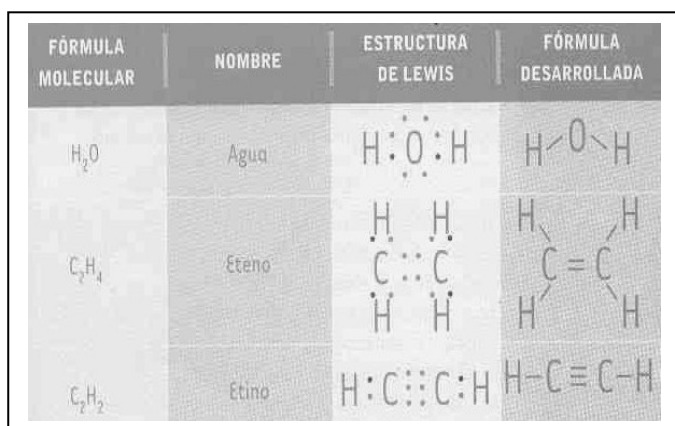


Fig. 12.8 p.102

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
12.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS) Y DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
12.2	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
12.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
12.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
12.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
12.6	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	RELACIONAL
12.7	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
12.8	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (MOLECULAR, LEWIS Y RAYAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

Las imágenes precedentes se encuentran en el capítulo "Uniones Químicas" de un libro de polimodal. Este capítulo desarrolla los siguientes contenidos: introducción a las uniones químicas, el enlace iónico, introducción a la nomenclatura química, el enlace metálico, el enlace covalente, nomenclatura de los compuestos moleculares binarios, polaridad de enlaces y moléculas, geometría de las moléculas, fuerzas intermoleculares, modelos moleculares, hibridación.

Al final del capítulo, se presentan dos lecturas, una de ellas referida a los metales superconductores y la otra, al dióxido de carbono y el calentamiento global del planeta. Estas lecturas, que culminan con el planteo de debate e investigación, relacionan la ciencia con la tecnología y su impacto en la sociedad.

Por otra parte, el texto trae notas al margen de cada página donde se relacionan los conceptos desarrollados con la vida diaria, por ejemplo: los iones y compuestos iónicos presentes en nuestro organismo, su función e importancia.

Cuando se desarrollan los conceptos de enlace iónico y covalente, se hace referencia a la electronegatividad y a la afinidad electrónica de los átomos.

La figura 12.1 consideramos que podría provocar confusiones ya que en el núcleo del átomo sólo se representan los protones. En la figura 12.4 donde se representa la red metálica, no hay una explicación previa de cómo se produce el enlace metálico. Solamente se presenta esta figura en la que se describe que la red metálica está formada por cationes rodeados de electrones, pero no explica cómo se forman estos cationes, lo que puede conducir a dificultar la comprensión.

Con respecto al grado de iconicidad que predomina en las imágenes, advertimos que es la representación de Lewis.

La función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes es, en forma mayoritaria, la descripción, seguida de la aplicación.

La gran mayoría de las imágenes poseen etiqueta verbal nominativa, es decir que estas etiquetas identifican con letras o palabras algunos elementos de la imagen.

La relación texto – imagen que predomina es la connotativa, es decir que el texto no establece una correspondencia con la imagen. Esta situación puede deberse, como en casos anteriores, a que el texto describe y explica los diferentes enlaces a medida que va intercalando las imágenes relacionadas con lo que se va desarrollando, es decir que se supone “obvia” la vinculación entre ambos.

Este texto, al igual que uno de los anteriores, introduce el concepto de modelos moleculares, muy útil para comprender la geometría de las moléculas.

Para culminar, un aspecto importante que el texto desarrolla es el de la relación entre la estructura de las moléculas –debido al enlace entre sus átomos- y las propiedades macroscópicas de los compuestos.

Así mismo, queremos destacar la figura 12.1 que muestra diferentes representaciones electrónicas y, la figura 12.8 que presenta distintos modelos de moléculas. Con esto queremos subrayar la importancia de mostrar en una misma imagen diferentes modelos que expresan la misma realidad.

4.1 Resultados globales para los libros de texto para estudiantes de 15 años

El análisis de los seis libros de texto del nivel de polimodal (nivel secundario, llamado actualmente) nos permite hacer las siguientes valoraciones en cuanto a las imágenes usadas para la enseñanza de los enlaces químicos.

Primeramente, en la tabla 14 se exponen los resultados conjuntos de las categorías analizadas y en las tablas 15 a 18 se muestra el número de imágenes en cada categoría analizada.

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
7.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
7.2	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
7.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
7.4	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS, RAYAS Y MOLECULAR)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
7.5	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS, RAYAS Y MOLECULAR)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
7.6	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
8.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
8.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.5	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.6	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
8.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
8.9	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
8.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.11	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.12	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
8.13	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
8.14	DEFINICIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
9.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
9.2	DEFINICIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OM)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
9.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
9.4	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
9.5	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
9.6	APLICACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
10.1	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
10.2	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
10.3	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CUÑAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
10.4	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
10.5	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
10.6	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
10.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS) Y DIBUJO FIGURATIVO (FUSIONADO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
10.8	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
10.9	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
11.1	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
11.2	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y MOLECULAR)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.3	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.4	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
11.5	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y MOLECULAR)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.6	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS, RAYAS Y MOLECULAR)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
11.8	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.9	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
11.10	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.11	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	CONNOTATIVA	RELACIONAL
11.12	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
11.13	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.14	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.15	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
11.16	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
11.17	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
11.18	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
11.19	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
12.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS) Y DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
12.2	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
12.3	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
12.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
12.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
12.6	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	RELACIONAL
12.7	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
12.8	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (MOLECULAR, LEWIS Y RAYAS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA

Tabla 14. Resultados conjuntos de las categorías analizadas en los libros de texto de 15 años.

FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	CANTIDAD DE IMÁGENES
DESCRIPCIÓN	38
APLICACIÓN	12
DEFINICIÓN	12
TOTAL	62

Tabla 15. N^o de imágenes en la categoría de la función de la secuencia didáctica en los libros de texto de 15 años.

GRADO DE ICONICIDAD	MODELO	CANTIDAD DE IMÁGENES	TOTAL
DIBUJO FIGURATIVO	BOLAS	3	13
	BOLAS Y VARILLAS	3	
	FUSIONADO	6	
	OTROS	1	
DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS	NIVELES ELECTRÓNICOS	10	13
	OTROS	3	
DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS	CLOA	2	5
	OM	1	
	CUÑAS	1	
	OTROS	1	
DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS	LEWIS	39	59
	DIAGRAMA DE RAYAS	14	
	MOLECULAR	6	
TOTAL			90

Tabla 16. N^o de imágenes en la categoría del grado de iconicidad en los libros de texto de 15 años.

RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	CANTIDAD DE IMÁGENES
CONNOTATIVA	31
DENOTATIVA	27
SINÓPTICA	4
TOTAL	62

Tabla 17. Cantidad de imágenes en la categoría de la relación con el texto principal en los libros de texto de 15 años.

ETIQUETA VERBAL	CANTIDAD DE IMÁGENES
SIN ETIQUETA	23
NOMINATIVA	37
RELACIONAL	2
TOTAL	62

Tabla 18. Cantidad de imágenes en la subcategoría de la etiqueta verbal en los libros de texto de 15 años.

Como se desprende de la tabla 15, *la función de la secuencia didáctica* a que alude la mayor parte de las ilustraciones relacionadas con el enlace químico en estos libros, tiene la función de descripción o de definición de los conceptos implicados. En este sentido, se mantiene la tendencia ya observada en los libros de EGB 3, de un claro predominio de la función descripción, muchas veces seguida de la definición y aplicación, en el conjunto de las unidades de secuencia, lo que conlleva un discurso expositivo, con escasez de elementos problemáticos, interrogantes, dudas, preguntas, etc. La ciencia así expuesta es una ciencia segura, rígida y dogmática, que da poco juego al pensamiento discursivo. Sólo en un par de libros se ha advertido la presencia de problemas propuestos a partir de las ilustraciones (en la EGB 3 no se encontró ninguno) (Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios, 2008).

En segundo lugar, en la tabla 16 se contabiliza el número de imágenes que responde a cada uno de los modelos de representación molecular. El total de este número de imágenes, que se obtiene al sumar las cifras de la columna derecha de esta última tabla, es muy superior al cómputo de imágenes analizadas (62 imágenes de Polimodal), lo que tiene fácil explicación, puesto que muchas de ellas contienen varias representaciones moleculares conjuntas. Esto permite la obtención de una mayor variabilidad en el grado de *iconicidad* de las imágenes usadas en los libros de texto relacionadas con el enlace químico. No obstante, si se agrupan los diagramas de Lewis, de rayas y los de niveles electrónicos, se alcanza casi el 68% del total. De cualquier modo, existen diferencias significativas de unos libros a otros.

Si consideramos que las ilustraciones utilizadas en los libros de texto son coherentes con las intenciones de sus autores, de modo que muestran los contenidos o aspectos sobre los que desean poner la atención del lector y favorecer su aprendizaje, hemos de preguntarnos el motivo por el que los autores de los libros consideran que los modelos de Lewis, de rayas y los de niveles electrónicos, son fundamentales para el aprendizaje de este contenido en el nivel de 1º de Polimodal. Los modelos de bolas y de varillas usados a los 12 años, esto es, al inicio de la educación secundaria obligatoria, son sustituidos por los modelos de Lewis, rayas y los de niveles electrónicos al final de su educación obligatoria. Estos últimos permiten visualizar los electrones que forman los enlaces, aunque no dan una idea de la representación tridimensional de la molécula, como los primeros que hemos mencionado. No obstante, la multiplicidad de modelos sigue siendo la norma prioritaria (Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios, 2008).

La tabla 17 muestra que, al igual que en los libros de EGB 3, la *relación texto – imagen* que más destaca es de tipo connotativa; por tanto, generalmente el texto no establece una relación con la imagen, sino que estas se suponen obvias, debiendo establecerlas el lector. Así mismo, la *etiqueta verbal* que generalmente prevalece, es la etiqueta nominativa (ver tabla 18), en la que sólo se identifican algunos elementos de la imagen. Estas dos características: relación texto - imagen connotativa y etiqueta verbal nominativa, no están en consonancia con nuestros conocimientos sobre cómo favorecer el aprendizaje.

A tal efecto y, como nos hemos referido anteriormente, la polisemia de las imágenes, sumada a la superficialidad con la que las observamos, excepto que haya razones que nos obliguen a una mirada más rigurosa, plantean la necesidad de dirigir con cuidado su interpretación. Recordemos nuevamente que existen evidencias empíricas de que la concurrencia entre palabras e imágenes mejora el aprendizaje, de modo tal que es previsible que la multiplicidad de modelos, sin una adecuada orientación para su interpretación, no favorezca la comprensión (Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios, 2008).

No obstante, la tabla 17 también muestra que hay un porcentaje relativamente alto de la relación texto – imagen denotativa, donde en el texto se establece una correspondencia entre los elementos de la ilustración y los contenidos representados, y de imágenes que no poseen etiquetas verbales. Esto es factible y coherente ya que en muchos casos el texto desarrolla los conceptos intercalando imágenes inherentes a los mismos, con lo cual se hace innecesaria la etiqueta verbal. Esta relación denotativa entre texto e imagen, es una relación positiva a nuestro juicio para la comprensión del enlace químico, ya que creemos que favorece el aprendizaje de los conceptos, justamente por establecer esa preciada relación entre el texto y la imagen.

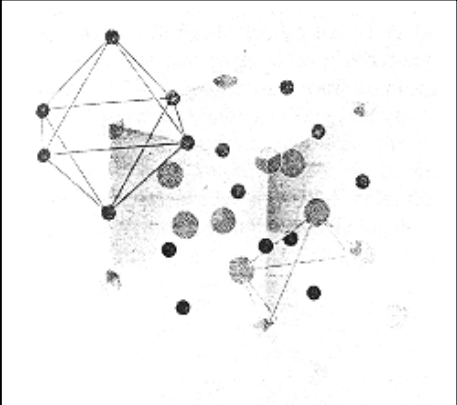
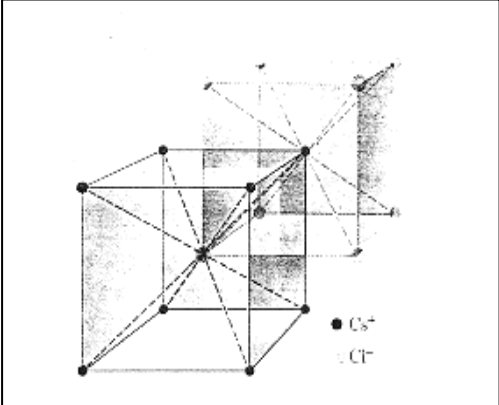
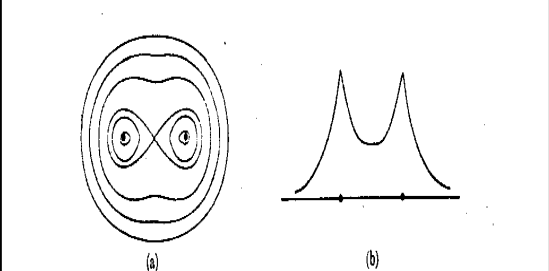
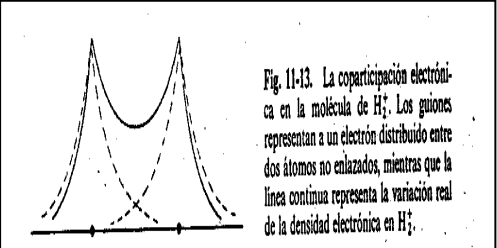
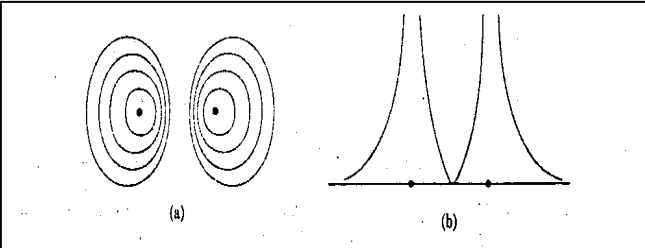
Con respecto al *contenido científico que sustenta estas imágenes*, el tratamiento que se le da al tema es más específico, profundo y complejo, como es de esperar, que el de los textos de EGB 3. En primer término, y a diferencia de los libros de EGB 3 donde, como vimos, las imágenes analizadas estaban presentes en los capítulos: *las transformaciones de la materia, transformaciones y reacciones químicas, el interior de la materia, la composición íntima de los alimentos, los sistemas materiales, y composición de la materia*, en los libros de Polimodal, las

imágenes están situadas en los capítulos denominados: *uniones químicas, enlaces químicos y unión química y estructura molecular*.

Otro aspecto llamativo es la diversidad de modelos para representar las uniones entre átomos, lo que se manifiesta incluso dentro de un mismo texto. Se podría pensar que esta diversificación de modelos es positiva para mostrar el carácter teórico del contenido que nos ocupa, y el papel importante que la modelización juega en este tipo de contenidos. Los modelos son herramientas útiles e indispensables para enfrentarse a conceptos abstractos y con un lenguaje altamente simbólico. No obstante, como se ha mostrado en investigaciones específicas sobre el aprendizaje de la modelización (Meheut y otros, 1988), tanto las reglas sintácticas de cada modelo (y sus limitaciones) como las reglas de correspondencias entre modelos son necesarias para evitar errores en el aprendizaje de los alumnos. Evidentemente, no estamos en desacuerdo con la utilización y diversificación de modelos, sino con la falta de explicaciones sobre las semejanzas y diferencias entre ellos, lo que dificulta la comprensión y comparación de los mismos (Matus Leites, 2006).

5. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES DE ENLACE QUÍMICO EN LOS LIBROS DE TEXTO PARA ESTUDIANTES DE 18 AÑOS

En este apartado se realiza el análisis de las imágenes de enlace químico presentes en seis libros de texto universitarios.

Libro de texto 13		Nivel:
Mahan, B. (1980). <i>Química. Curso Universitario</i> . Fondo Educativo Interamericano		universitario
 <p>Fig. 11-9. La red cristalina del cloruro de sodio, mostrando la coordinación séxtuple de los iones.</p>	 <p>Fig. 11-10. Parte de la red cristalina del cloruro de cesio, mostrando la coordinación octuple de los iones.</p>	
Fig. 13.1 p. 475	Fig. 13.2 p. 475	
 <p>Fig. 11-12. Representaciones de la densidad electrónica en el H_2^+: (a) contornos de densidad constante, y (b) la variación de la densidad a lo largo del eje internuclear.</p>	 <p>Fig. 11-13. La coparticipación electrónica en la molécula de H_2^+. Los guiones representan a un electrón distribuido entre dos átomos no enlazados, mientras que la línea continua representa la variación real de la densidad electrónica en H_2^+.</p>	
Fig. 13.3 p. 477	Fig. 13.4 p. 477	
 <p>Fig. 11-16. El orbital antienlazante del H_2^+: (a) contornos de densidad electrónica constante, y (b) la variación de la densidad electrónica a lo largo del eje internuclear.</p>	Fig. 13.5 p. 480	

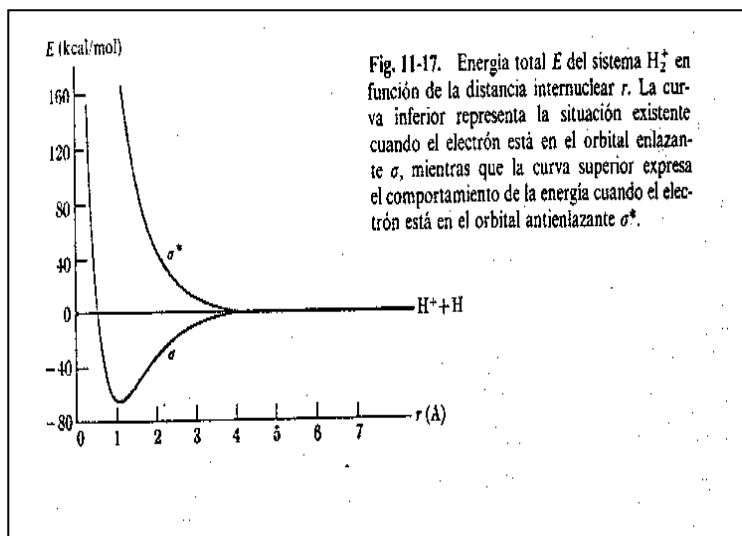


Fig. 13.6 p. 481

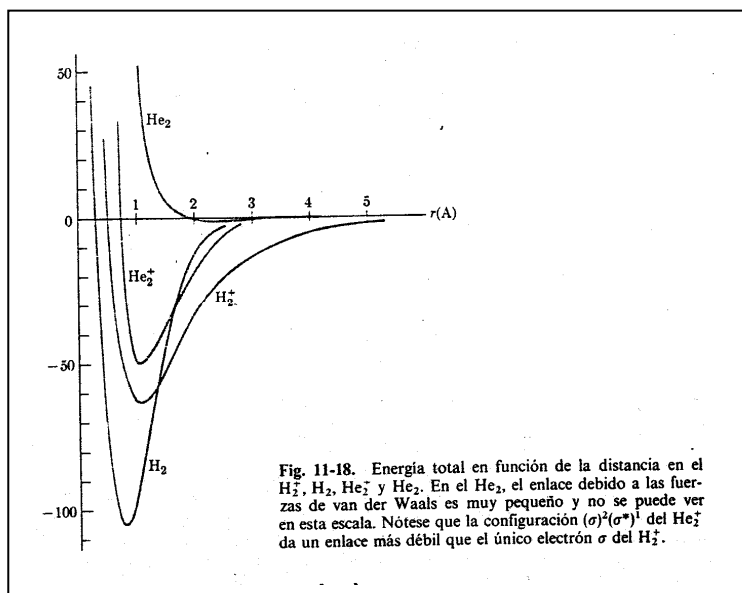


Fig. 13.7 p. 483

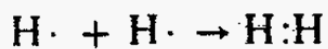


Fig. 13.8 p. 484

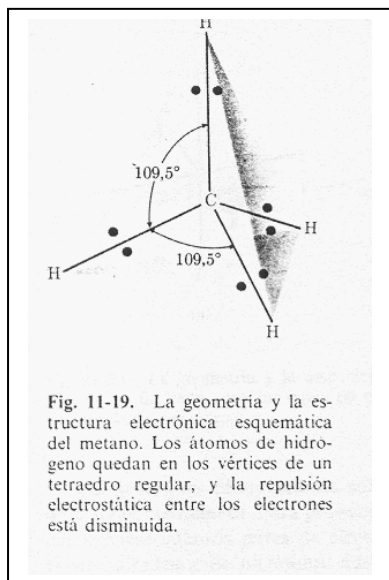


Fig. 13.11 p. 489

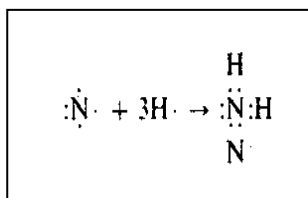


Fig. 13.9 p. 485

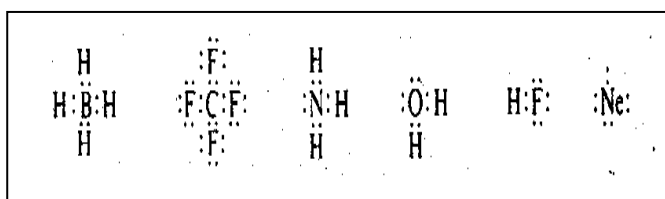


Fig. 13.10 p. 485

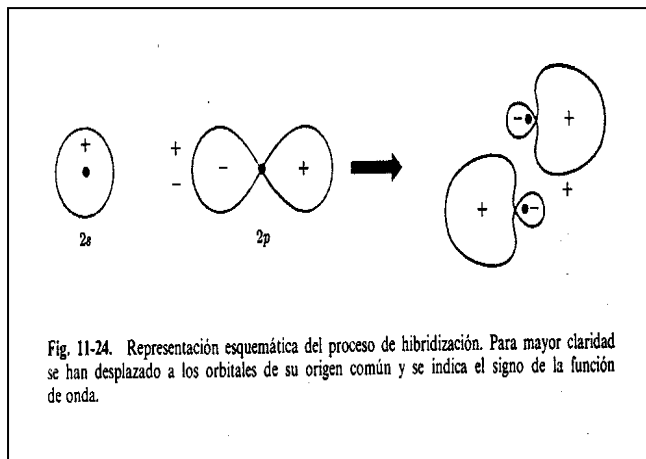


Fig. 13.13 p. 493

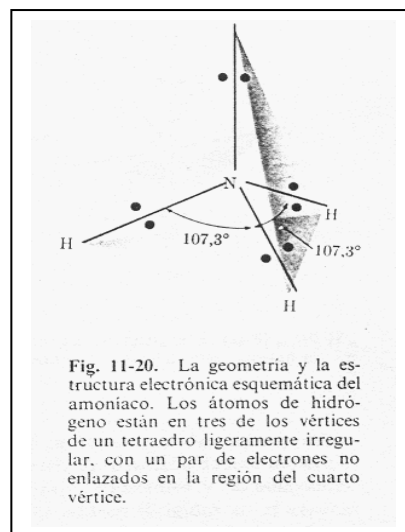


Fig. 13.12 p. 489

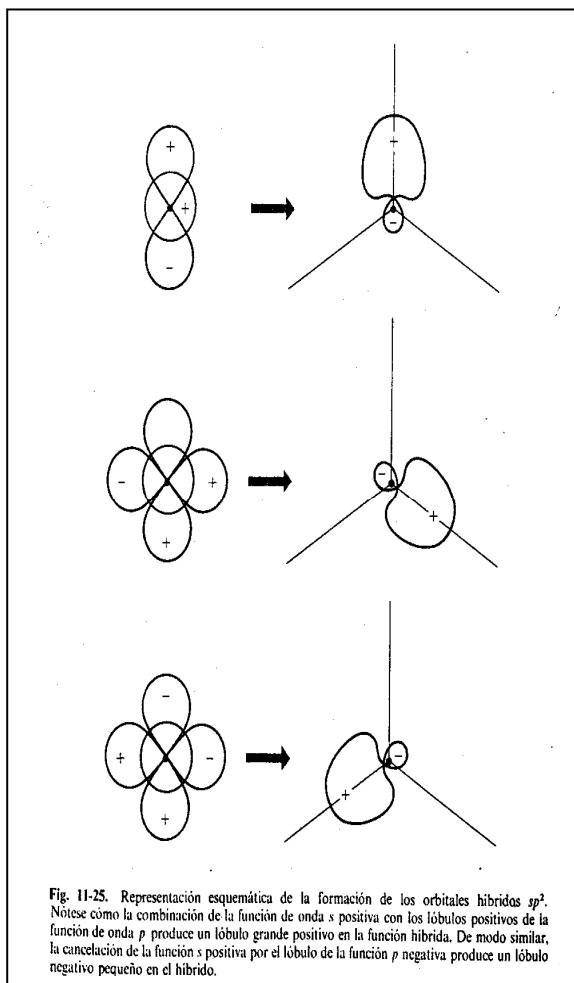


Fig. 13.14 p. 494

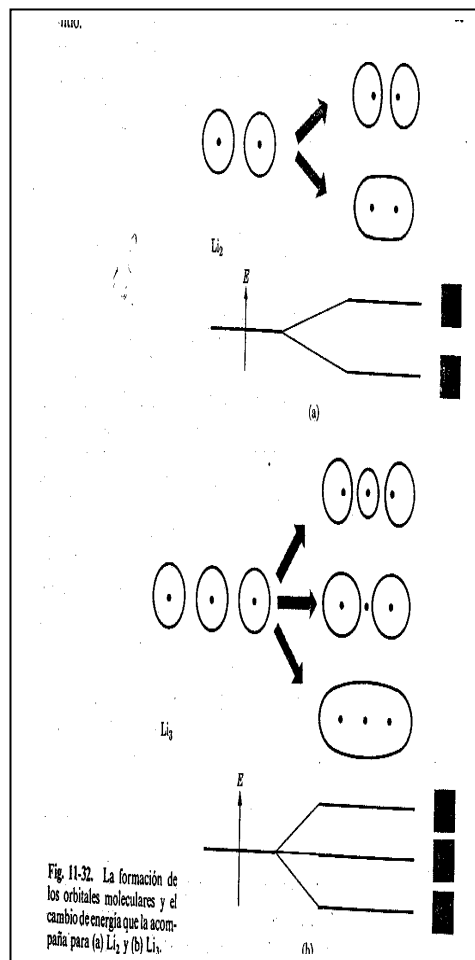


Fig. 13.16 p. 508

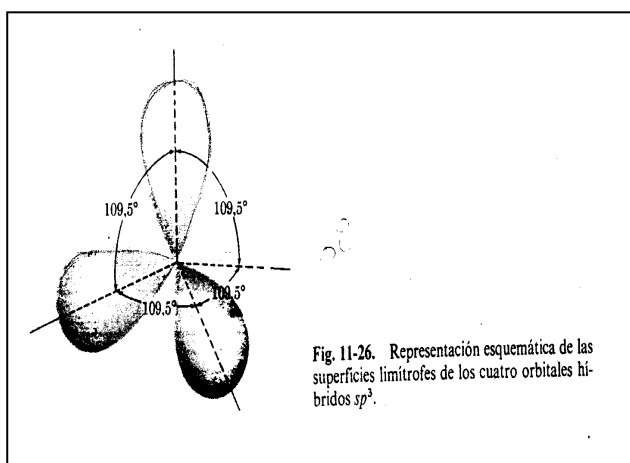


Fig. 13.15 p. 495

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
13.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.3	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.4	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
13.5	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.6	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
13.7	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.8	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
13.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
13.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
13.11	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.12	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.13	DEFINICIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.14	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL
13.15	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.16	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA

Las imágenes descritas anteriormente, figuran en el capítulo “El enlace químico” del libro citado y en el mismo se desarrollan ampliamente y desde el punto de vista cuántico, los temas: los parámetros de la estructura molecular, enlaces iónicos, los enlaces covalentes más sencillos, orbitales atómicos y moleculares, la geometría molecular, la polaridad del enlace, los enlaces múltiples, los enlaces multicentrados, enlace metálico, conclusiones.

Podemos advertir que, en general la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes, es la interpretación, ya que el texto generalmente desarrolla los contenidos con explicaciones que involucran relaciones entre conceptos. Esta característica, acompañada de una relación, entre el texto y las imágenes, predominantemente sinóptica y denotativa, junto a etiquetas verbales nominativas y algunas relacionales, hace que la relación entre el texto y las imágenes sea estrecha y por lo tanto favorezca la interpretación de contenidos abstractos.

En relación al grado de iconicidad de las imágenes, predominan las referidas a dibujo esquemático más signos, lo cual es esperable por el punto de vista desde el cual se desarrolla el tema. Estas imágenes se refieren al proceso de hibridación de los orbitales atómicos, a los orbitales híbridos y a la formación de orbitales enlazantes y antienlazantes. Estos dibujos esquemáticos representan magnitudes inobservables y llevan implícitamente conceptos abstractos.

Libro de texto 14		Nivel: universitario
Longo, F. (1983). <i>Química General</i> . México: Editorial McGraw Hill		

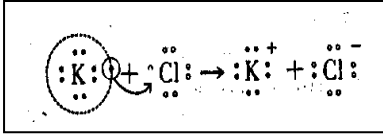


Fig. 14.1 p. 63

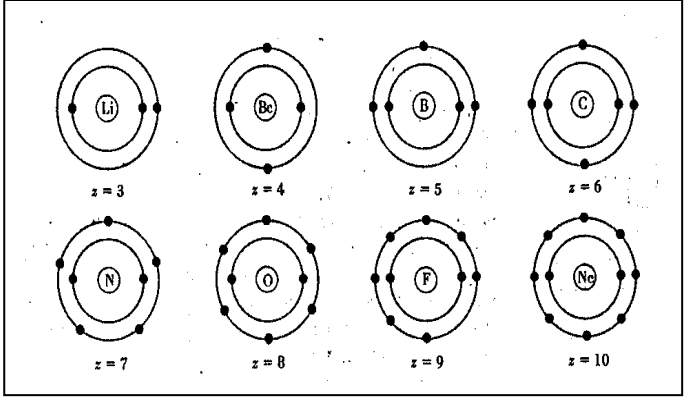


Fig. 14.2 p. 64

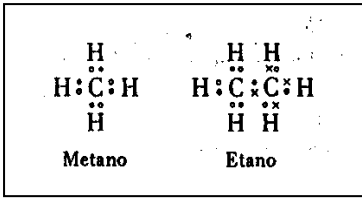


Fig. 14.3 p. 64

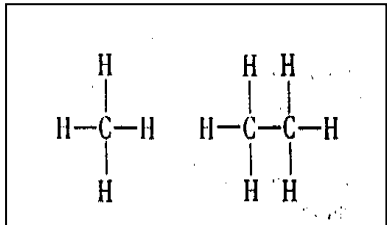


Fig. 14.4 p. 64

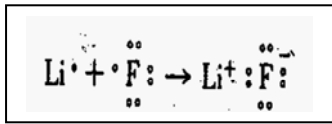


Fig. 14.6 p. 65

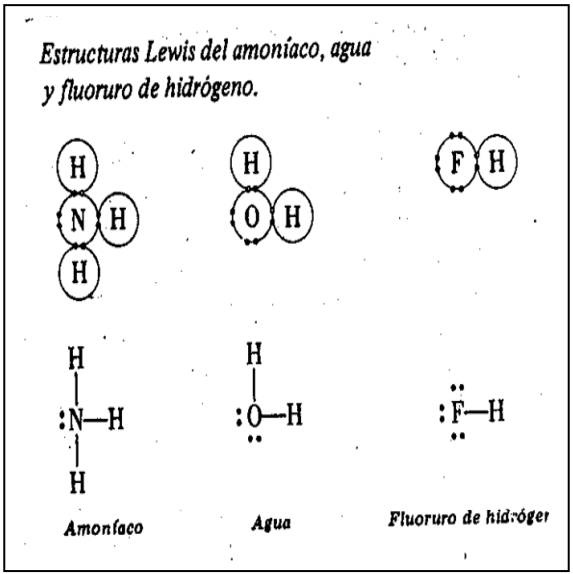


Fig. 14.5 p. 65

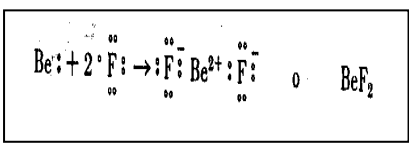


Fig. 14.7 p. 65

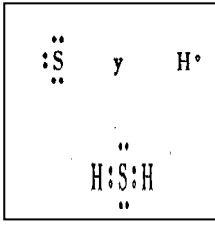


Fig. 14.8 p. 66

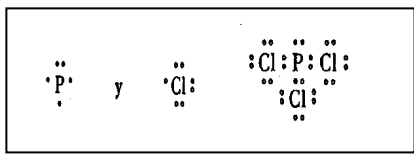


Fig. 14.9 p. 66

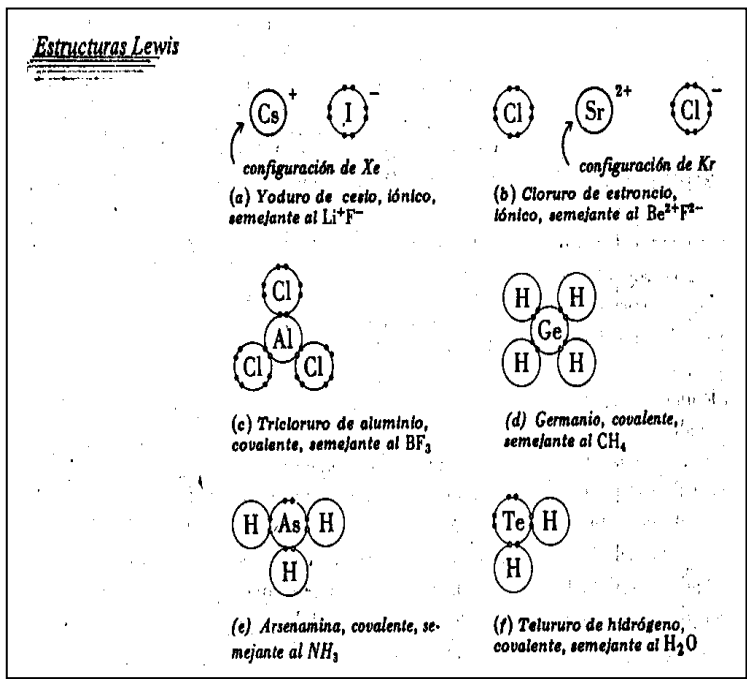


Fig. 14.10 p. 66

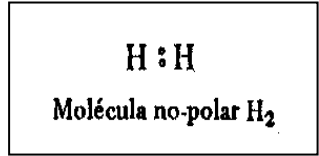


Fig. 14.12 p. 72

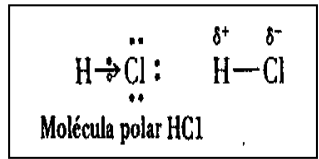


Fig. 14.13 p. 72

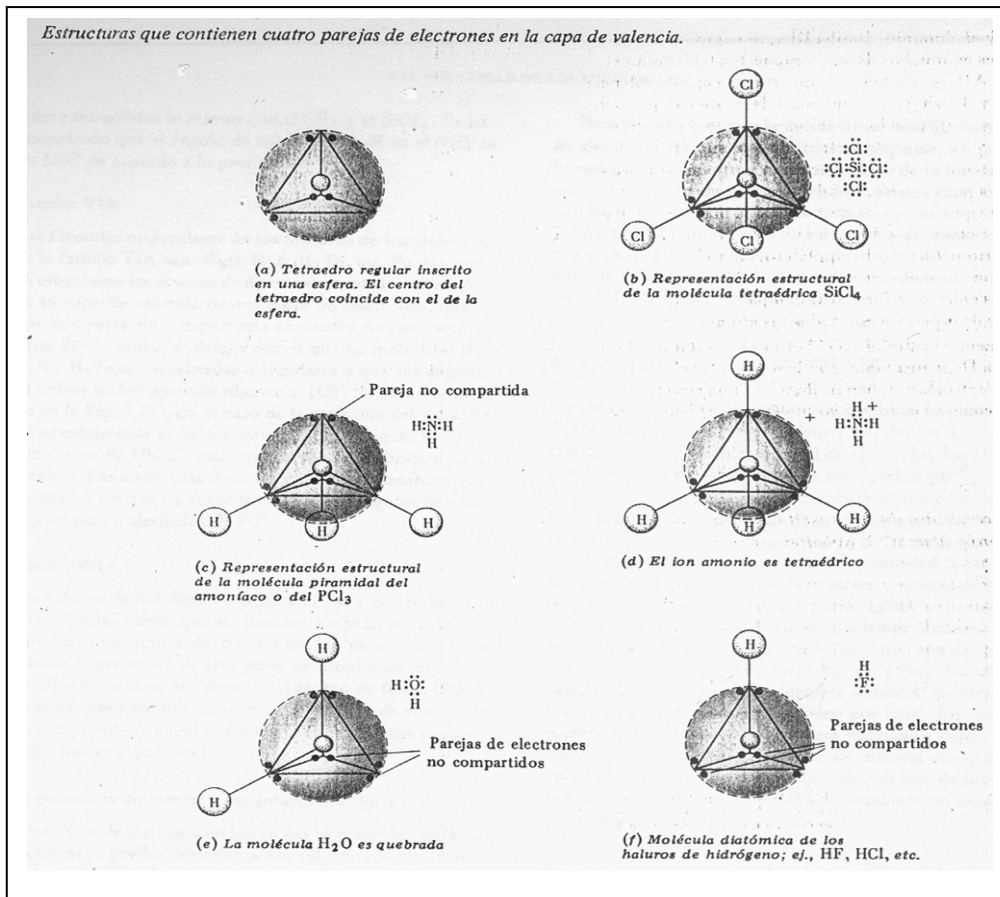


Fig. 14.11 p. 70

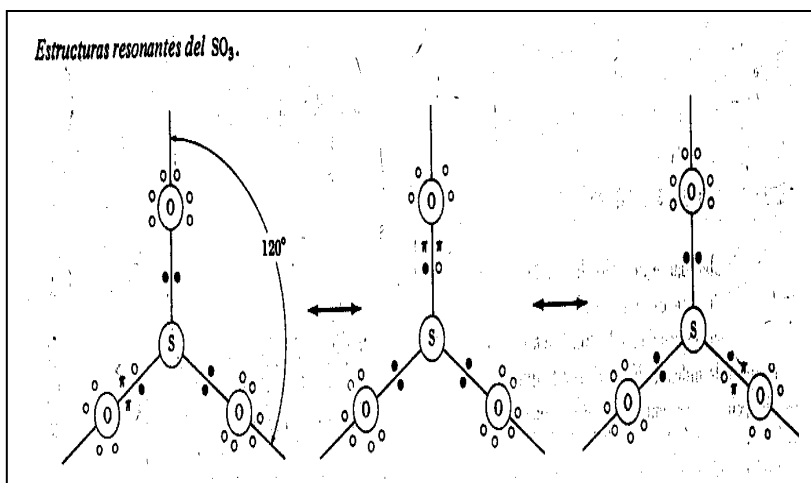


Fig. 14.14 p. 74

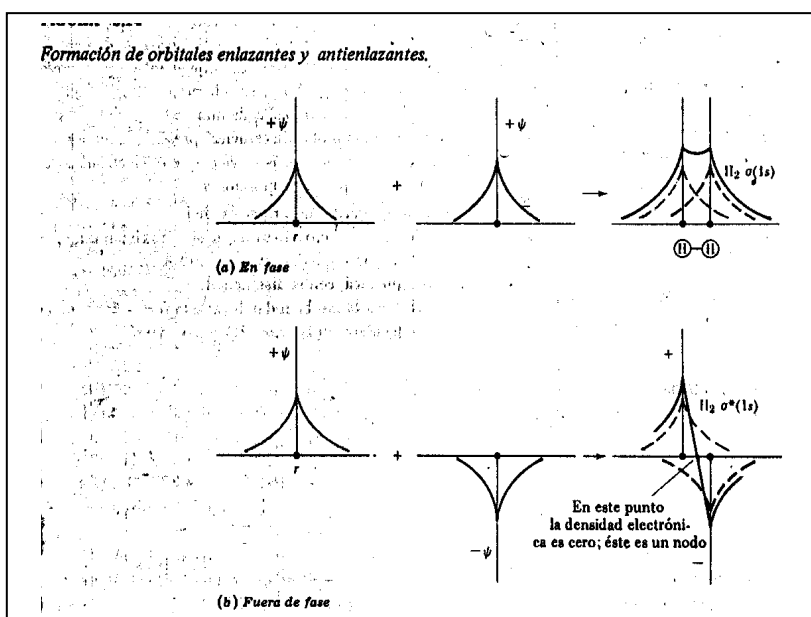


Fig. 14.15 p. 79

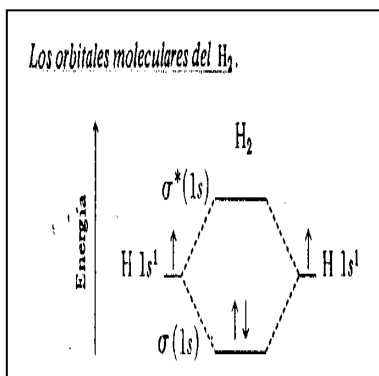


Fig. 14.16 p. 80

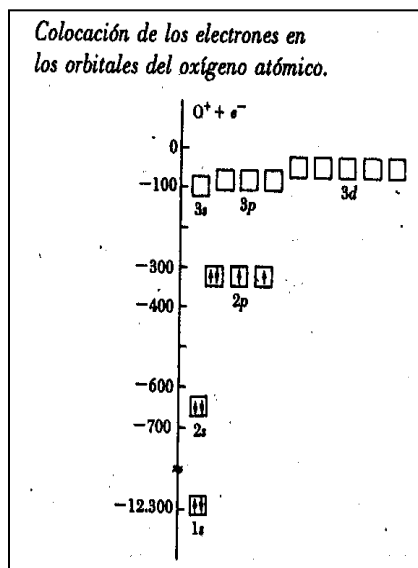


Fig. 14.17 p. 80

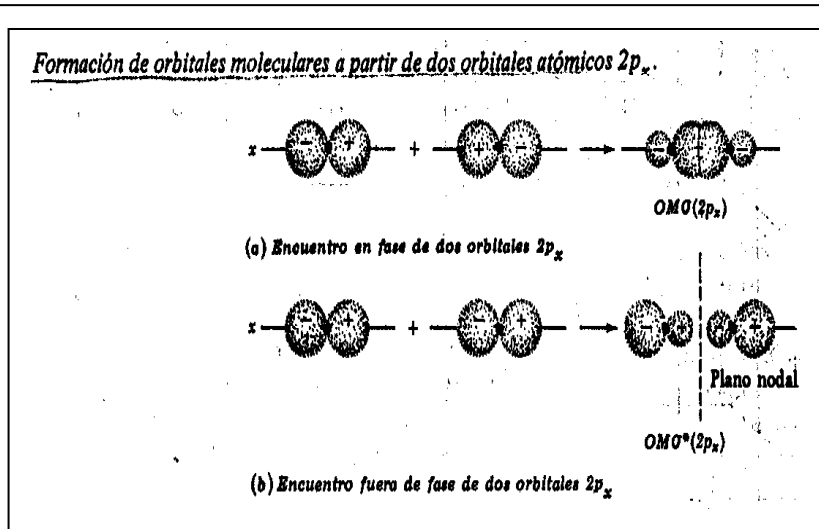


Fig. 14.18 p. 82

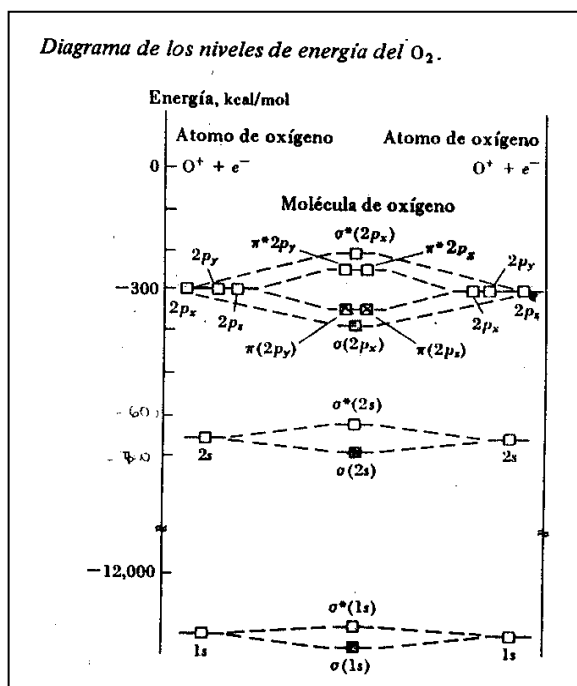


Fig. 14.19 p. 83

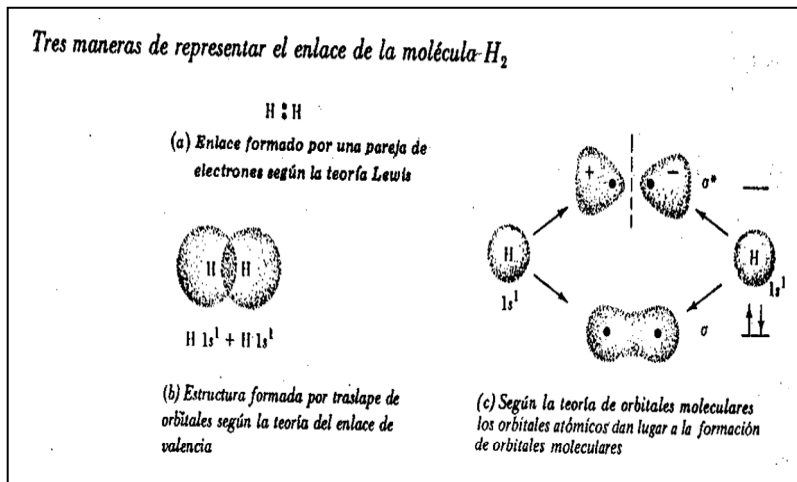


Fig. 14.20 p. 90

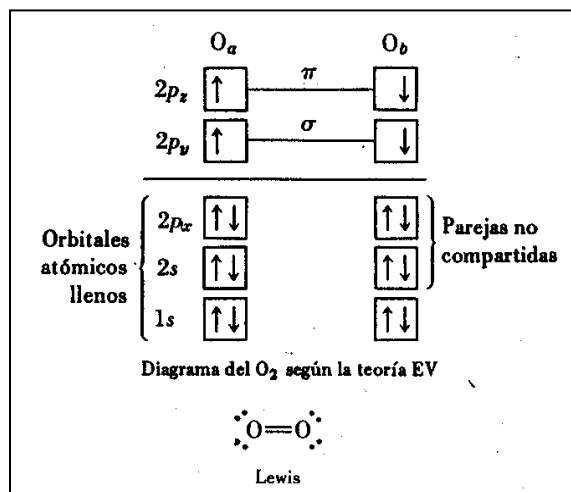


Fig. 14.21 p. 91

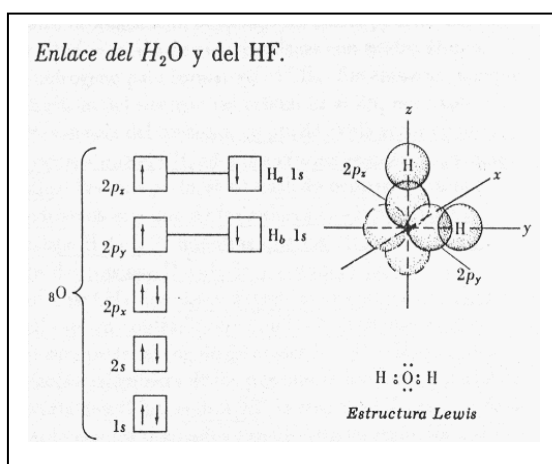


Fig. 14.22 p. 93

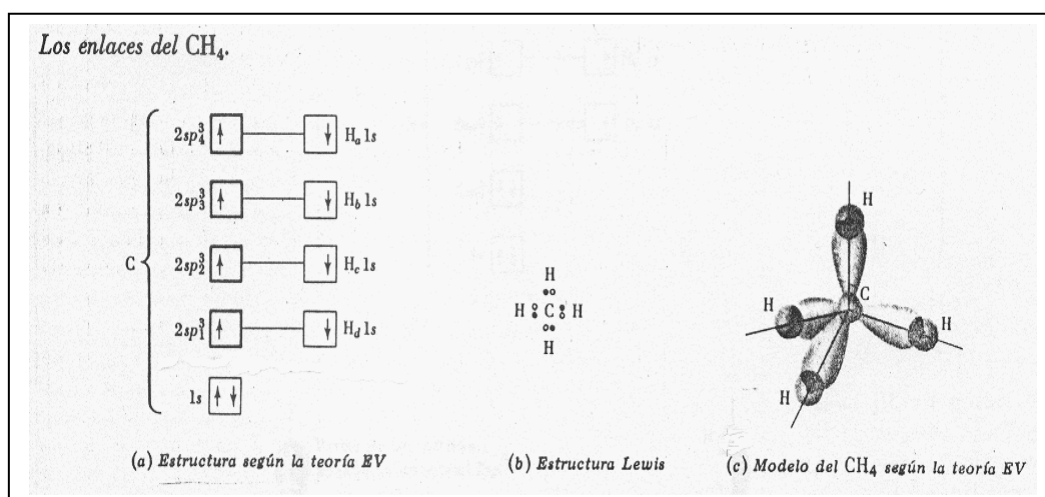


Fig. 14.23 p. 95

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
14.1	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
14.2	APLICACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.4	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
14.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.6	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
14.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
14.8	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
14.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
14.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.11	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO) Y DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.12	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
14.13	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.14	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.15	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.16	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.17	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.18	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.19	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.20	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS), DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA) Y DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.21	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
14.22	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS), DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO Y CLOA)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.23	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS), DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO Y CLOA)	DENOTATIVA	NOMINATIVA

Contextualizando las imágenes anteriores, decimos que figuran en el capítulo "Teoría del enlace". En este capítulo se abordan con abundantes ejemplos los siguientes temas: estructura molecular, evolución de la teoría del enlace en el siglo XIX, los electrones y la valencia, la regla del octeto, la teoría del enlace de Lewis-Langmuir, aplicaciones de la teoría del enlace de Lewis-Langmuir, el enlace iónico o electrovalente, relaciones de familia y las estructuras de Lewis, enlaces covalentes múltiples, el enlace covalente coordinado, geometría molecular con base en factores de repulsión electrostática, polaridad de los enlaces, la escala de electronegatividad, el enlace de hidrógeno, la resonancia y los pares de electrones deslocalizados, las moléculas impares y el paramagnetismo, teoría de Lewis-Langmuir y la mecánica cuántica, la teoría de los orbitales moleculares y la molécula de H_2 , la molécula de He_2 inestable, moléculas diatómicas homonucleares del segundo periodo, la molécula Li_2 , la molécula Be_2 no puede formarse, la molécula O_2 , la molécula B_2 , la molécula C_2 , las moléculas N_2 y F_2 , moléculas biatómicas homonucleares del segundo periodo, orbitales moleculares de moléculas poliatómicas, la teoría del enlace de valencia, las moléculas de N_2 y O_2 según la teoría del enlace de valencia, NH_3 , H_2O y HF según la teoría del enlace de valencia, ampliación de la teoría del enlace de valencia por el método de hibridación, hibridación trigonal o sp^2 , hibridación lineal o sp . Finalmente, el capítulo termina con un apartado de preguntas y problemas referidos a los contenidos estudiados. Algo que nos llamó la atención es que el texto no trata el enlace metálico, ni tampoco el enlace entre moléculas.

Los temas por lo general, son tratados a partir del análisis de un ejemplo, tal es así el caso del apartado la resonancia y los pares de electrones deslocalizados, donde se aborda a partir del análisis del trióxido de azufre.

Con respecto al grado de iconicidad de las imágenes, podemos ver que abundan las representaciones de Lewis y que hay una cantidad considerable de representaciones de orbitales atómicos y orbitales moleculares, no encontradas en los textos anteriores, lo que podemos fundamentar debido a la naturaleza de los contenidos abordados. Mención aparte merecen las figuras 14.11 y 14.14, que si bien podrían clasificarse como un modelo de bolas y varillas, aparecen en ellas símbolos que indican ángulos de enlace, electrones que forman enlaces, que hacen que las clasifiquemos como dibujo esquemático más signos (representan acciones o magnitudes inobservables), según la clasificación de Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004). Por otro lado, queremos destacar las imágenes 14.21, 14.22 y 14.23, que muestran diferentes aspectos de las moléculas representadas, lo que nos parece una manera acertada de ilustrar en una misma imagen diferentes modelos, cada uno de ellos destacando un aspecto del proceso del enlace químico.

Refiriéndonos a la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes, vemos un primer grupo en el que predomina la aplicación. En estos casos, la relación con el texto principal es denotativa y en algunos casos, sinóptica; las imágenes no poseen etiquetas verbales o la misma es del tipo nominativa. Esto es esperable ya que las imágenes se proponen como ejemplos luego de desarrollar conceptos, con lo cual el texto se refiere a las mismas sin dar claves para interpretarla y, las etiquetas verbales contienen letras o palabras que identifican elementos de la ilustración.

También hay imágenes cuya función de la secuencia didáctica en la que aparecen es la descripción. En estos casos es sinóptica y denotativa la relación con el texto principal; y nominativas sus etiquetas verbales. En este segundo grupo de imágenes, éstas aparecen luego de que el texto trata diferentes temas con descripciones e interpretaciones entre conceptos y haciendo referencia explícita a la imagen correspondiente, con lo cual se establece una relación a veces sinóptica y otras veces, denotativa con el texto principal.

Libro de texto 15	Nivel:
Babor, J., Ibarz, J. (1980). <i>Química General Moderna</i> . España: Editorial Marín.	universitario

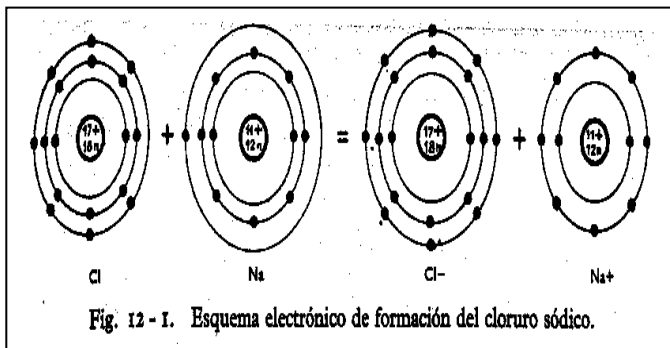


Fig. 15.1 p. 203

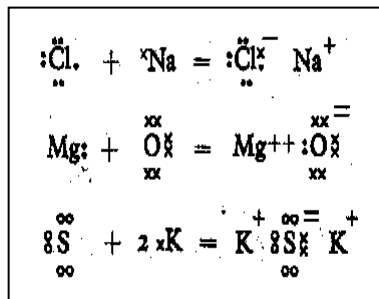


Fig. 15.2 p. 203

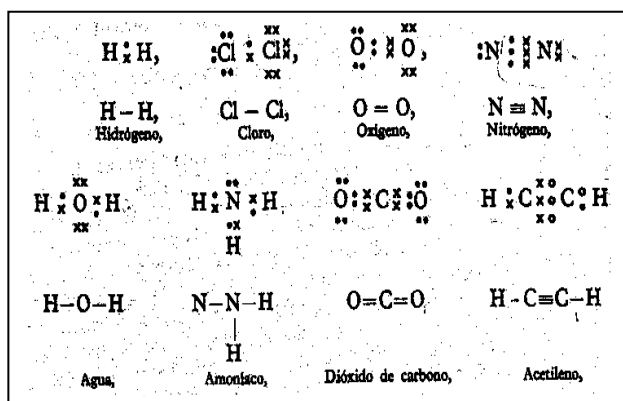


Fig. 15.3 p. 208

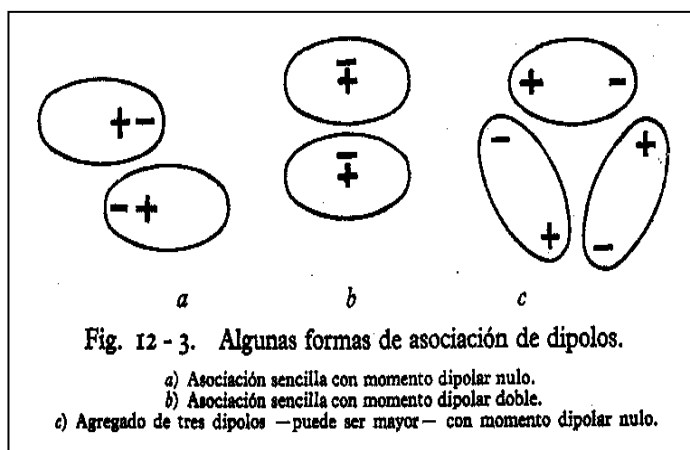
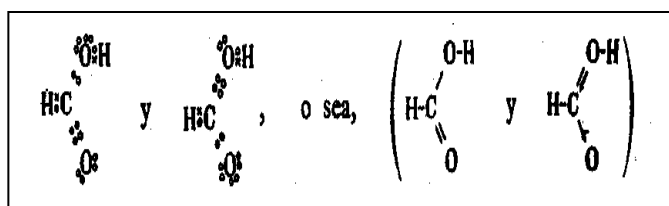


Fig. 15.4 p. 214



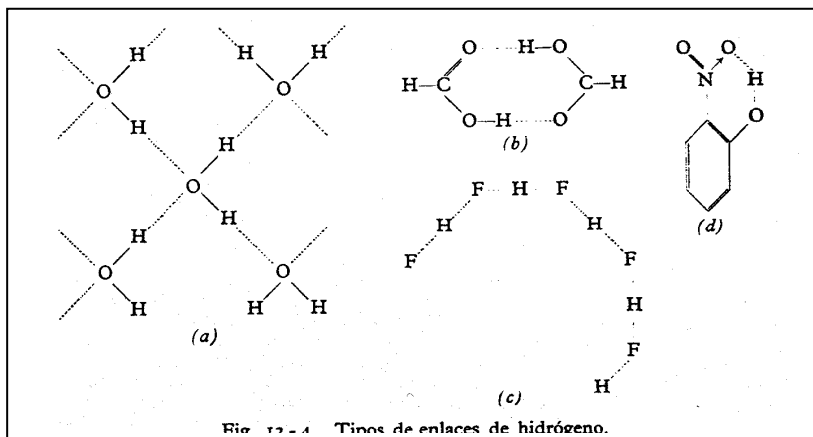


Fig. 15.6 p. 219

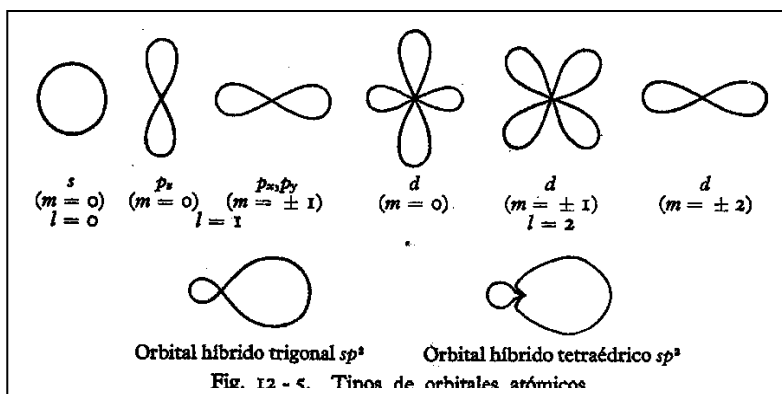


Fig. 15.7 p. 222

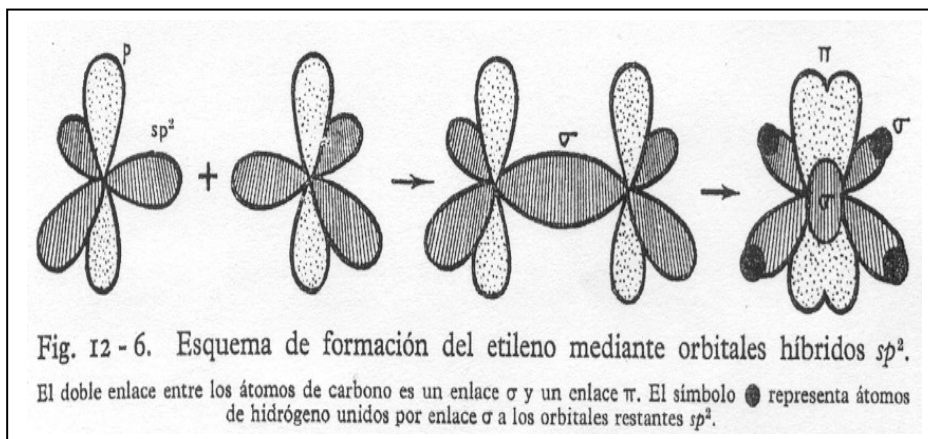


Fig. 15.8 p. 223

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
15.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.2	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
15.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL
15.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
15.6	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.7	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL

Las imágenes precedentes están presentes en el capítulo “Estructura atómica III. Valencia y estructura molecular”. Este capítulo trata los temas: introducción a la teoría de la valencia, estructura electrónica y reactividad de los átomos, electrovalencia, propiedades de los compuestos electrovalentes, iónicos o heteropolares, estudio energético de la formación de compuestos iónicos, covalencia, sus clases, cristales moleculares y cristales covalentes, radio covalente de los átomos, carácter polar del enlace covalente y escala de electronegatividad, resonancia o mesomería, enlace de hidrógeno, los tipos de enlace químico y las propiedades de las sustancias, el enlace covalente en la mecánica ondulatoria, estructura de las moléculas, espectros moleculares y difracción electrónica por los gases. Por último, el capítulo finaliza con una serie de preguntas y ejercicios referidos a los temas abordados.

En este capítulo, los conceptos son analizados desde la descripción de los fenómenos para culminar con ejemplos a modo de aplicación. De esta manera, vemos que la función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes, mayormente es la descripción y la aplicación. La relación texto-imagen es denotativa, es decir que el texto establece una conexión con los elementos de la ilustración pero, sin dar claves para interpretarla. Con respecto a las etiquetas verbales, hay imágenes que no la poseen y otras que poseen etiquetas nominativas y relacionales.

En relación al grado de iconicidad de las imágenes, predominan las representaciones de Lewis y rayas, sin embargo, también se observan imágenes bajo la denominación de dibujo esquemático más signos. Estas imágenes se refieren a representaciones de dipolos, tipos de orbitales atómicos y formación de orbitales moleculares a partir de orbitales atómicos. Estos modelos presentan una simbología específica y llevan implícitos conceptos abstractos.

Libro de texto 16	Nivel: universitario
Daniels, F., Alberty, R. (1975). <i>Fisicoquímica</i> . México: Compañía Editorial Continental.	

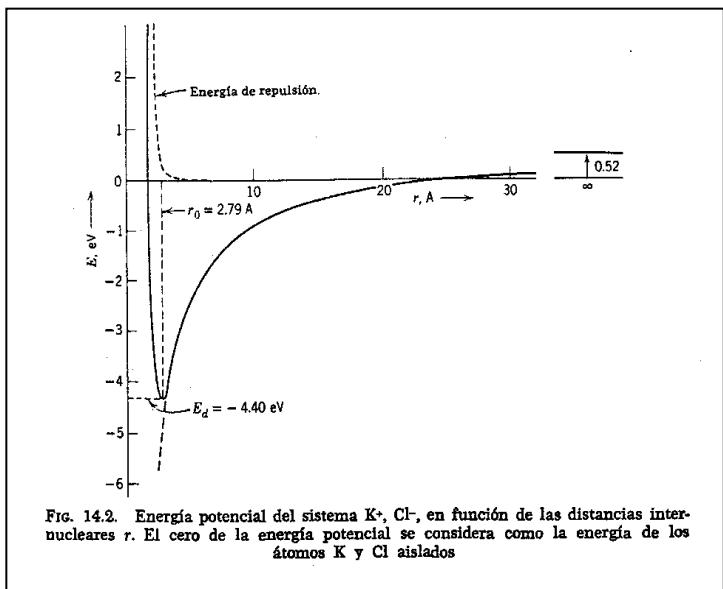


Fig. 14.2. Energía potencial del sistema K^+, Cl^- , en función de las distancias internucleares r . El cero de la energía potencial se considera como la energía de los átomos K y Cl aislados

Fig. 16.1 p. 510

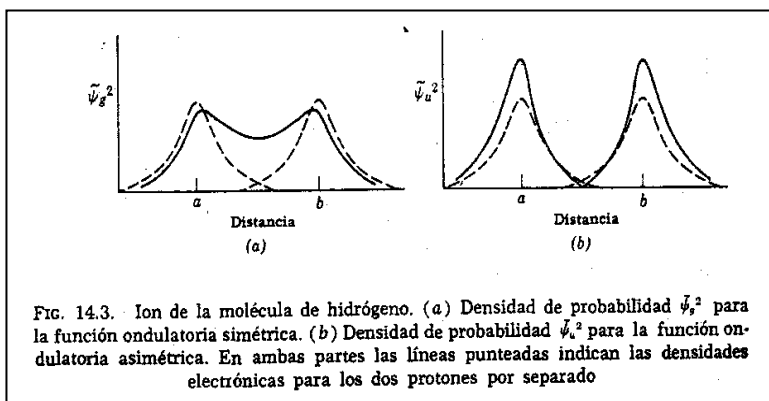


Fig. 16.2 p. 515

Fig. 14.3. Ion de la molécula de hidrógeno. (a) Densidad de probabilidad $\tilde{\psi}_s^2$ para la función ondulatoria simétrica. (b) Densidad de probabilidad $\tilde{\psi}_a^2$ para la función ondulatoria asimétrica. En ambas partes las líneas punteadas indican las densidades electrónicas para los dos protones por separado

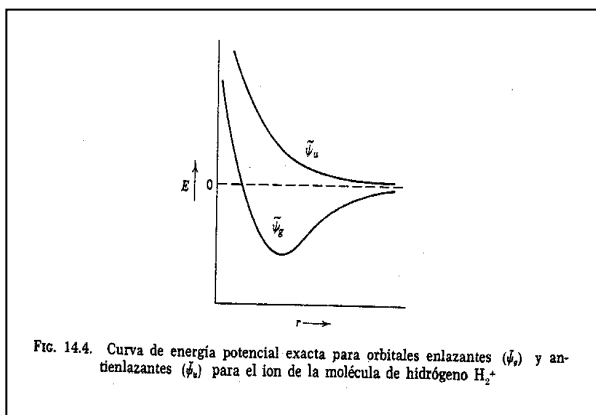


Fig. 14.4. Curva de energía potencial exacta para orbitales enlazantes ($\tilde{\psi}_s$) y anti-enlazantes ($\tilde{\psi}_a$) para el ion de la molécula de hidrógeno H_2^+

Fig.16.3 p. 516

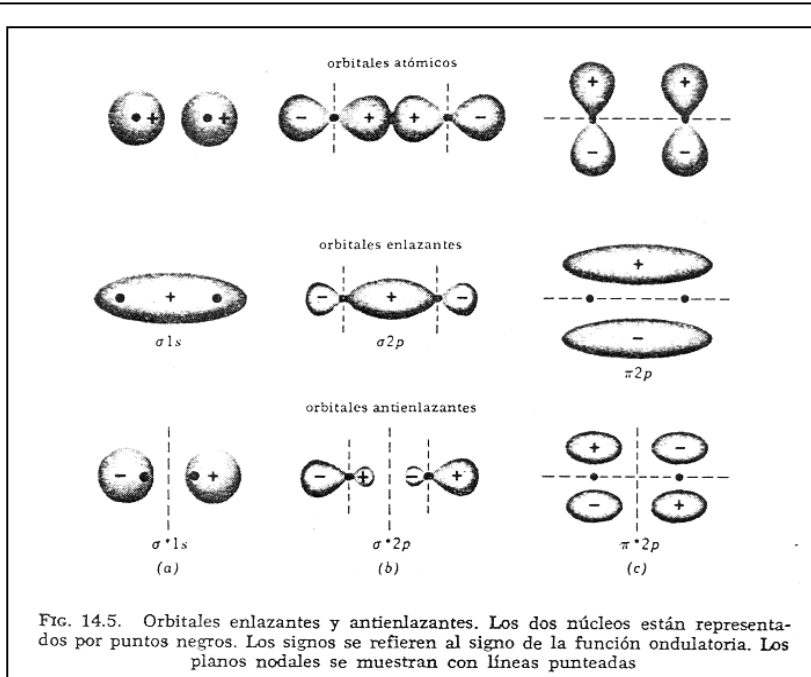


Fig. 16.4 p. 519

Fig. 16.5 p. 522

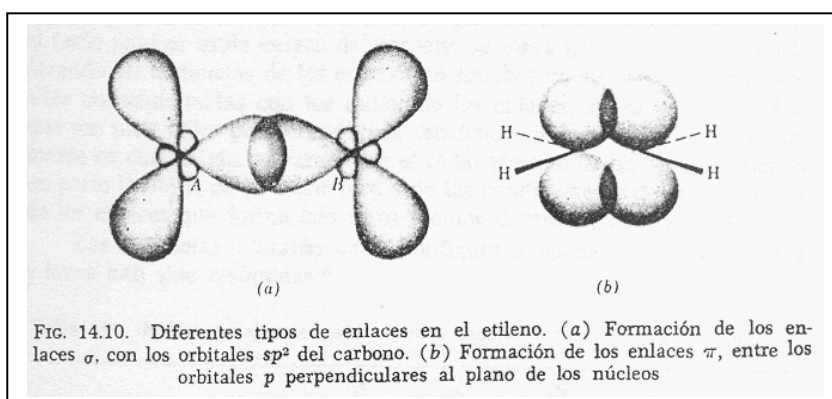
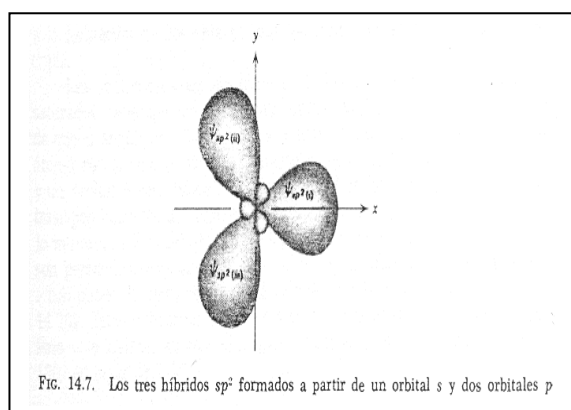


Fig. 16.6 p. 524

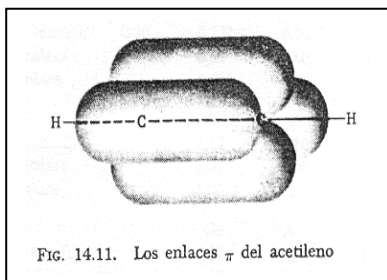


Fig. 16.7 p. 524

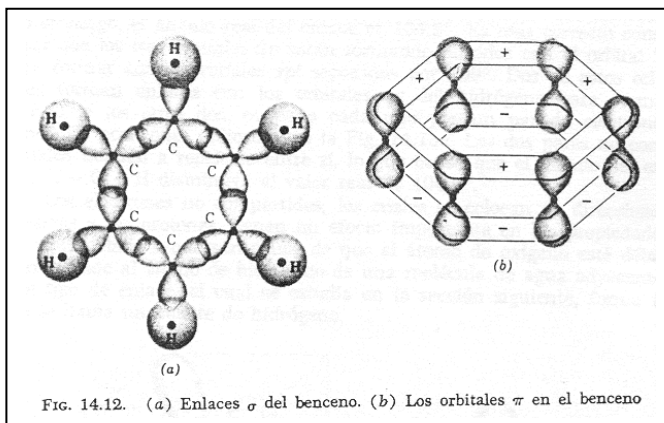


Fig. 16.8 p. 525

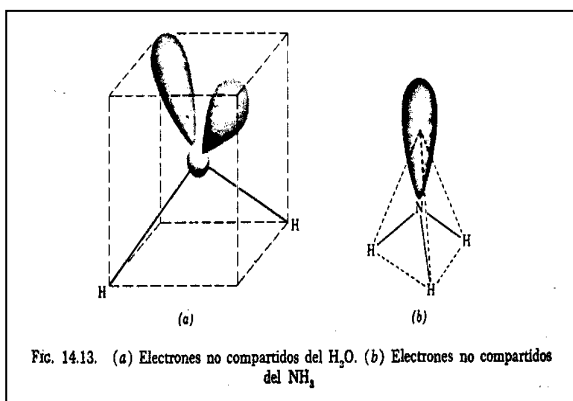


Fig. 16.9 p. 527

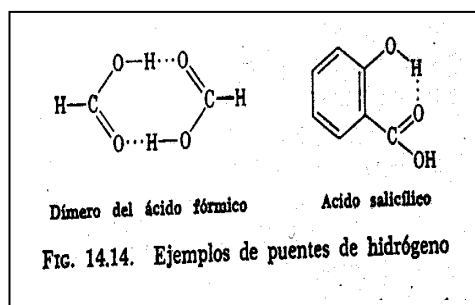


Fig. 16.10 p. 528

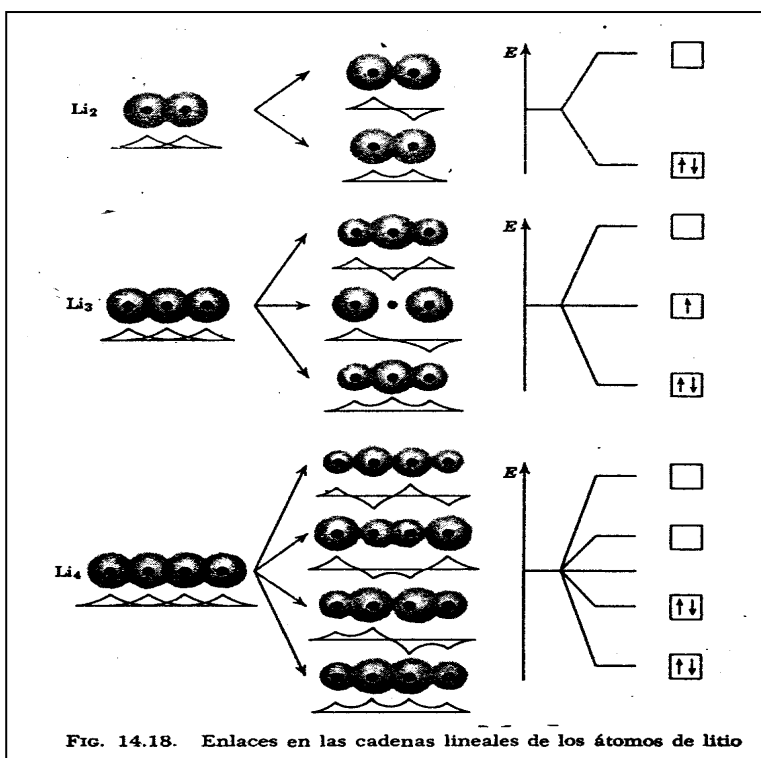


Fig. 16.11 p. 533

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
16.1	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.2	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.4	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL
16.5	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.6	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.7	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OM)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.9	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.10	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.11	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO) Y DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA

Las imágenes anteriores figuran en el capítulo “Estructura electrónica molecular” inserto en el apartado 3 denominado “Química cuántica”. El capítulo mencionado, aborda los siguientes temas: electronegatividad, enlace iónico, enlace covalente, aplicación del método LCAO a la molécula iónica de hidrógeno, la teoría de orbitales moleculares aplicada a la molécula de hidrógeno, orbitales moleculares en las moléculas biatómicas heteronucleares, hibridación, enlaces pi, radios de enlace, pares de electrones no compartidos, puentes de hidrógeno, teoría del campo ligante, enlaces metálicos, semiconductores, atracciones de Van der Waals y finalmente un apartado de problemas. Algo llamativo con respecto a los contenidos abordados, es que no se analiza el enlace covalente coordinado.

La función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes son predominantemente, la descripción y la interpretación, pues los temas se tratan describiendo un fenómeno, por ejemplo el enlace iónico, estableciendo relaciones con otros conceptos, tales como potencial de ionización, energía potencial del sistema, energía de repulsión, distancias internucleares, como se muestra en la figura 16.1.

El texto no presenta imágenes de moléculas con modelos de Lewis o diagrama de rayas, esto tal vez puede justificarse porque el estudio del enlace químico realizado es desde el punto de vista cuántico. De esta manera, se presentan imágenes con el grado de iconicidad dibujo esquemático más signos y descripción en signos normalizados, es decir ilustraciones referidas a la formación de orbitales híbridos, orbitales moleculares y gráficas cartesianas. Como consecuencia, podemos afirmar que el grado de iconicidad de las imágenes es bajo, lo que implica un mayor conocimiento del código simbólico utilizado, para comprenderlas.

Con respecto a la relación de las imágenes con el texto principal, generalmente es sinóptica, pues el texto describe e interpreta el fenómeno, estableciendo relaciones entre los elementos incluidos en las imágenes. De esta manera, vemos que, a excepción de una sola imagen, todas tienen etiquetas nominativas, no siendo necesario, a nuestro entender, etiquetas relacionales por la relación sinóptica entre texto e imagen.

Maron, S. y Prutton, C. (1972). *Fundamentos de Física y Química*. México: Editorial Limusa Wiley, S.A.

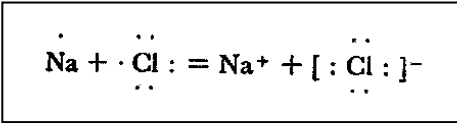


Fig. 17.1 p. 660

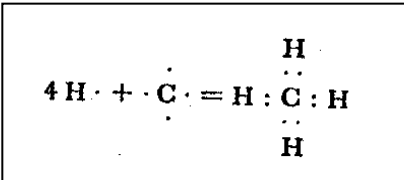


Fig.17.3 p. 664

Fig. 17.2 p. 661

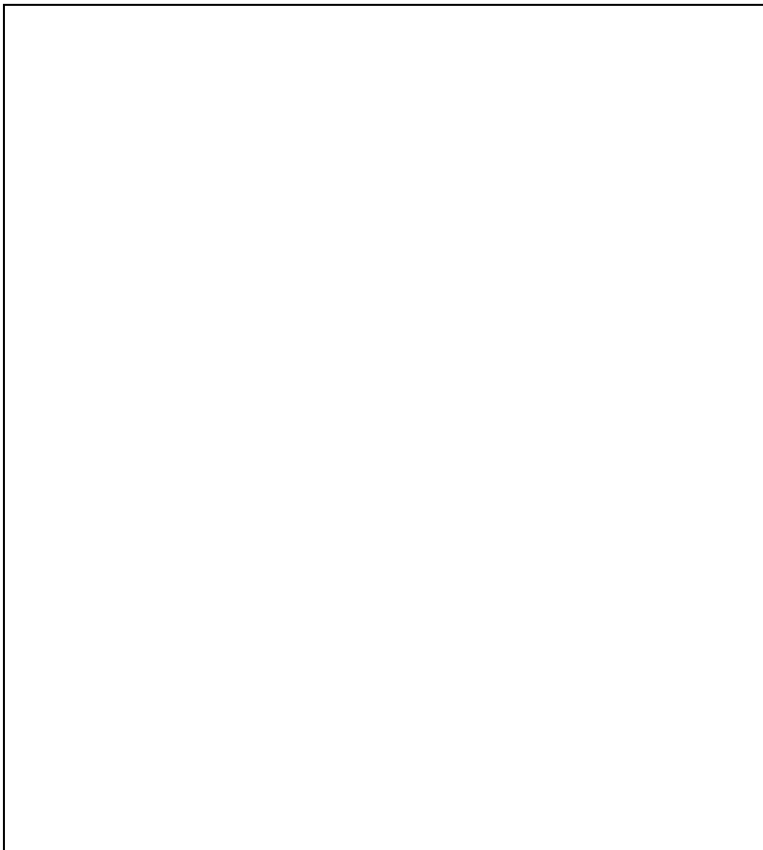
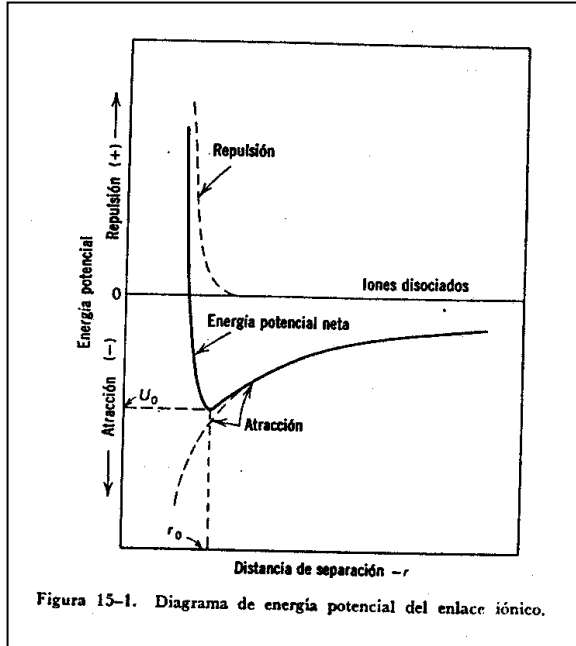


Fig. 17.5 p. 676

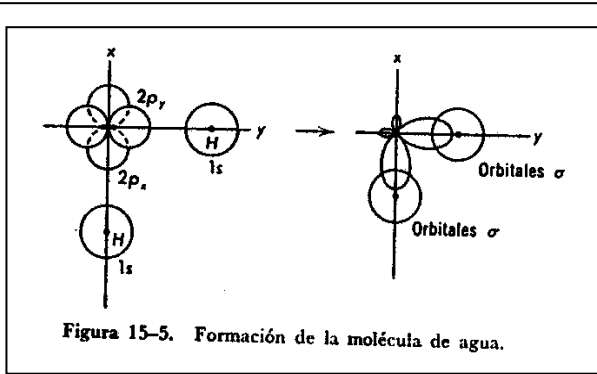


Fig. 17.6 p. 680

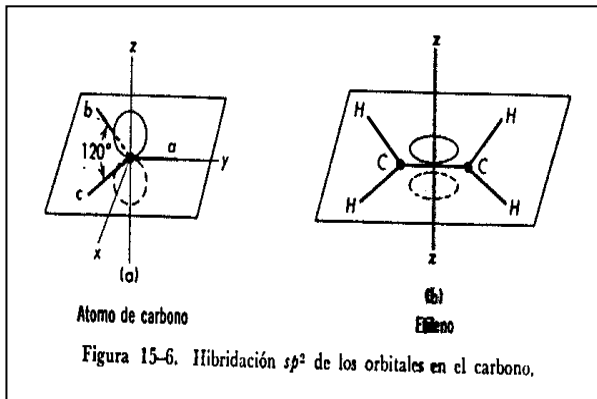


Fig. 17.7 p. 682

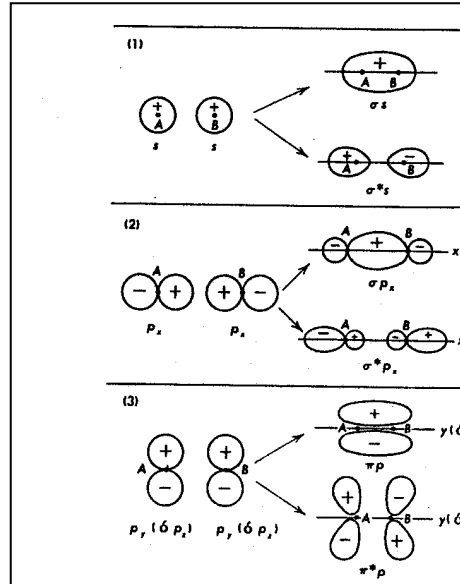
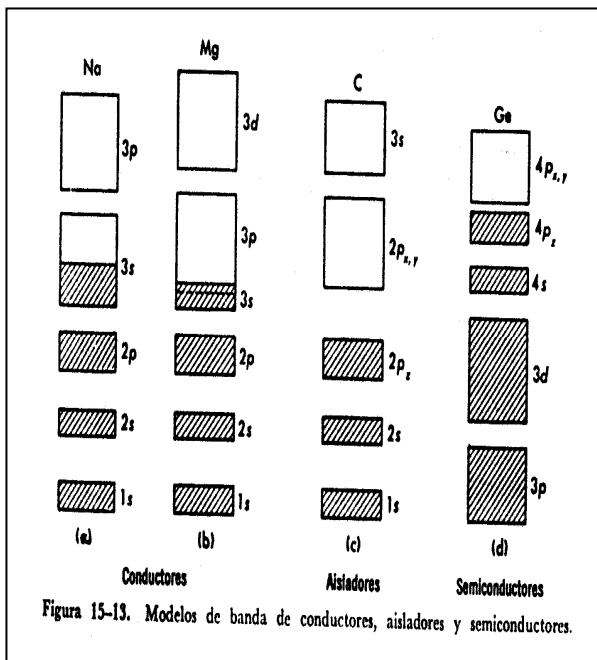


Figura 15-4. Orbitales moleculares constituidos a partir de los

Ejemplos de enlace de hidrógeno se encuentran en el agua

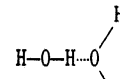


Fig. 17.9 p. 694

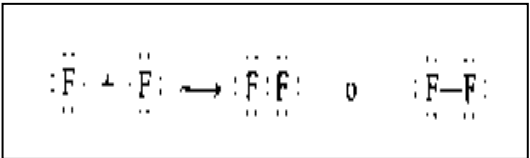
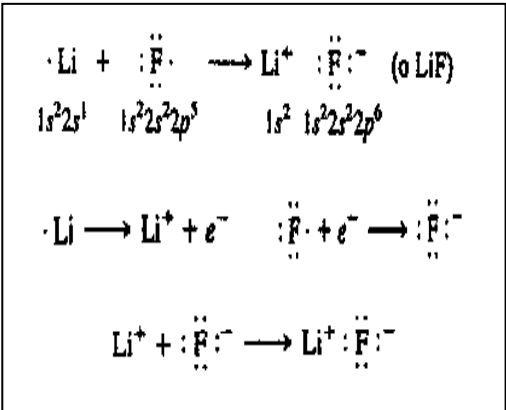
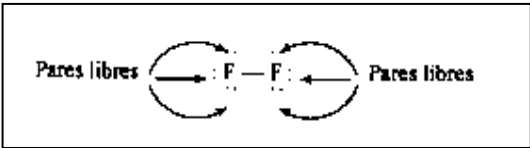
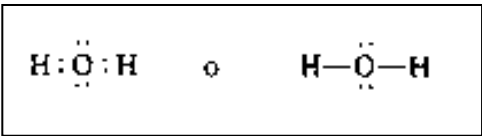
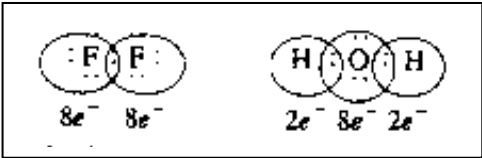
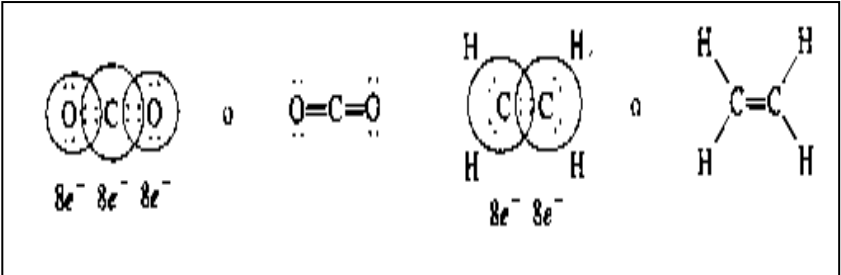
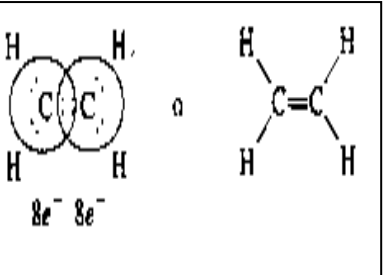
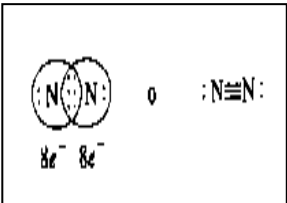
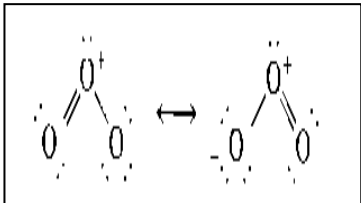
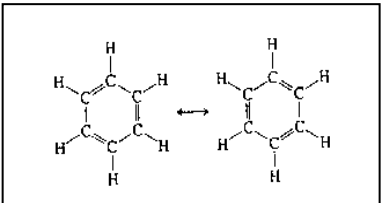
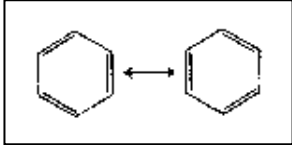
Fig. 17.8 p. 692

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
17.1	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
17.2	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
17.3	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
17.4	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
17.5	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.6	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.7	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA

Las imágenes precedentes están presentes en el capítulo "Naturaleza del enlace químico". En el capítulo se abordan los siguientes temas: el enlace iónico, energía de red de los cristales iónicos, el enlace covalente, la naturaleza del enlace y las propiedades físicas, excepciones a la regla del octeto, la mecánica cuántica y el enlace covalente, el ion de la molécula de hidrógeno, la molécula de hidrógeno, de diferencia entre el método de enlace de valencia y el orbital molecular, orbitales moleculares de enlace y antienlace, el enlace de las moléculas biatómicas, las electronegatividades de los átomos, el enlace en algunas moléculas poliatómicas, hibridación de los orbitales atómicos, hibridación sp^2 , hibridación sp , la estructura del benceno, resonancia, comportamiento de los elementos de transición, teoría de los campos cristalinos y ligante, el enlace metálico, el enlace de hidrógeno. Por último, el capítulo finaliza con una serie de problemas.

La función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes, varía al igual que en los textos anteriores, entre descripción, interpretación y aplicación. De esta manera, podemos afirmar que el mismo texto además de hacer referencia a las imágenes, proporciona información suficiente para poder interpretarla, estableciéndose una relación sinóptica con la misma. Al mismo tiempo, no creemos necesario que las etiquetas verbales sean relacionales y, en consecuencia, podemos apreciar que generalmente la etiqueta verbal de estas imágenes es nominativa.

Con respecto al grado de iconicidad de las imágenes, muchas de ellas son dibujos esquemáticos más signos y descripción en signos normalizados, es decir imágenes que tienen que ver con la formación de orbitales moleculares a partir de orbitales atómicos y gráficas cartesianas. Así mismo, también se encuentran imágenes con representaciones de Lewis.

Libro de texto 18	Nivel: universitario	
Chang, R. (1997). <i>Química</i> . México: Mc Graw Hill.		
$\cdot\text{Li} + \cdot\ddot{\text{F}}\cdot \longrightarrow \text{Li}^+ \text{:}\ddot{\text{F}}\text{:}^- \text{ (o LiF)}$ $1s^2 2s^1 \quad 1s^2 2s^2 2p^5 \quad 1s^2 1s^2 2s^2 2p^6$ $\cdot\text{Li} \longrightarrow \text{Li}^+ + e^- \quad \cdot\ddot{\text{F}}\cdot + e^- \longrightarrow \text{:}\ddot{\text{F}}\text{:}^-$ $\text{Li}^+ + \text{:}\ddot{\text{F}}\text{:}^- \longrightarrow \text{Li}^+ \text{:}\ddot{\text{F}}\text{:}^-$	 <p style="text-align: center;">Fig. 18.2 p. 350</p>	
	 <p style="text-align: center;">Fig. 18.3 p. 359</p>	
	 <p style="text-align: center;">Fig. 18.5 p. 359</p>	
	 <p style="text-align: center;">Fig. 18.6 p. 359</p>	
	 <p style="text-align: center;">Fig. 18.8 p. 370</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 18.9 p. 370</p>
 <p style="text-align: center;">Fig. 18.10 p. 371</p>		

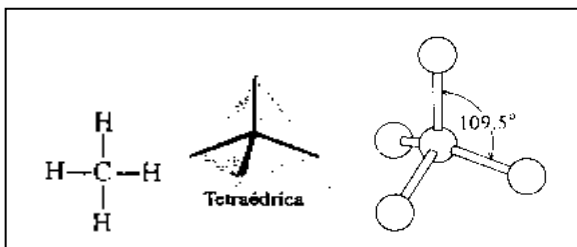


Fig. 18.11 p. 392

Fig. 18.12 p. 396

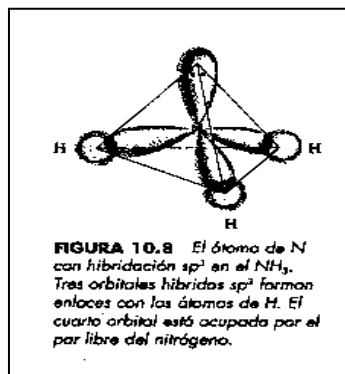


Fig. 18.13 p. 408

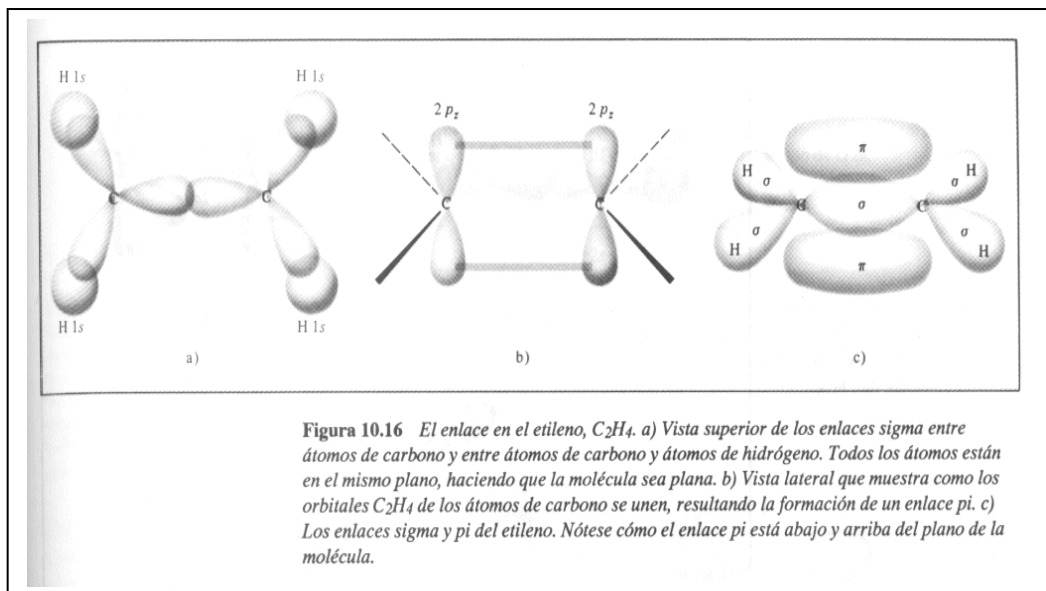
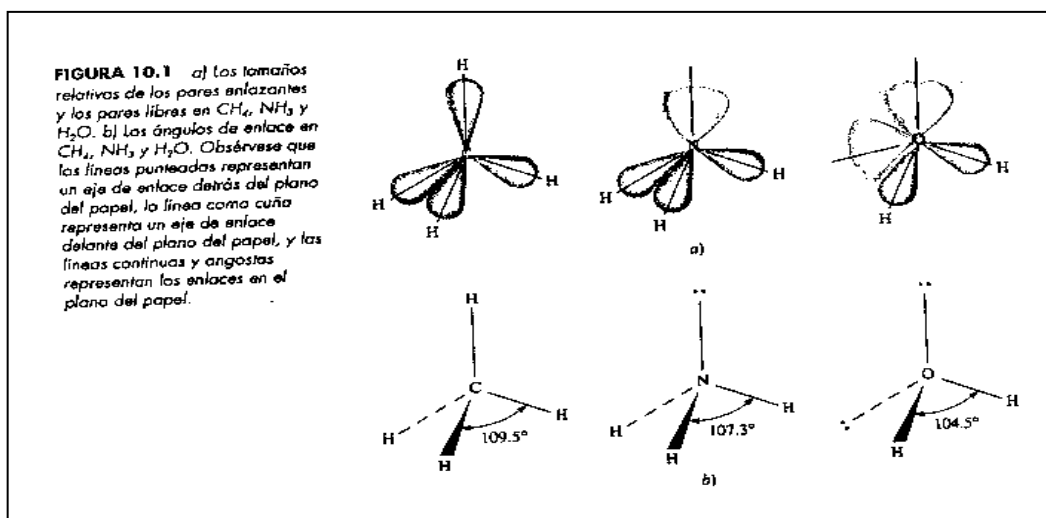


Fig. 18.14 p. 417

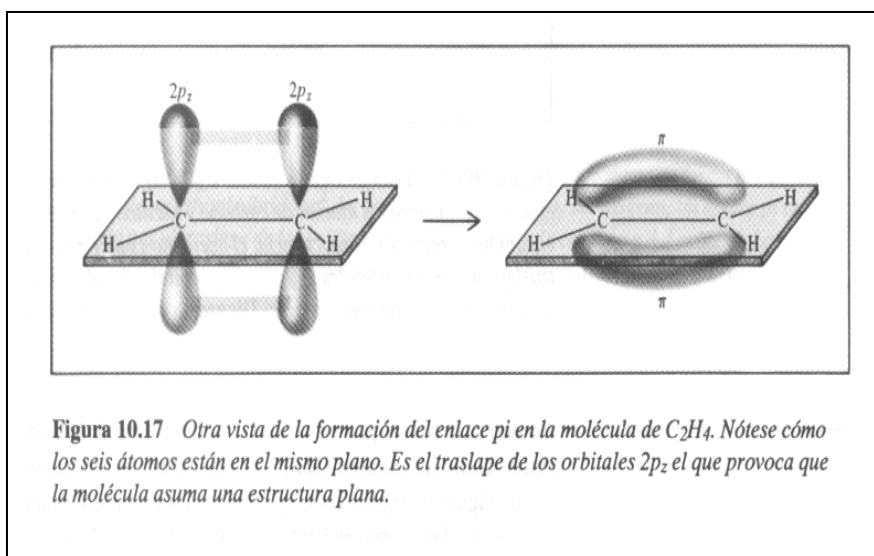


Fig. 18.15 p. 417

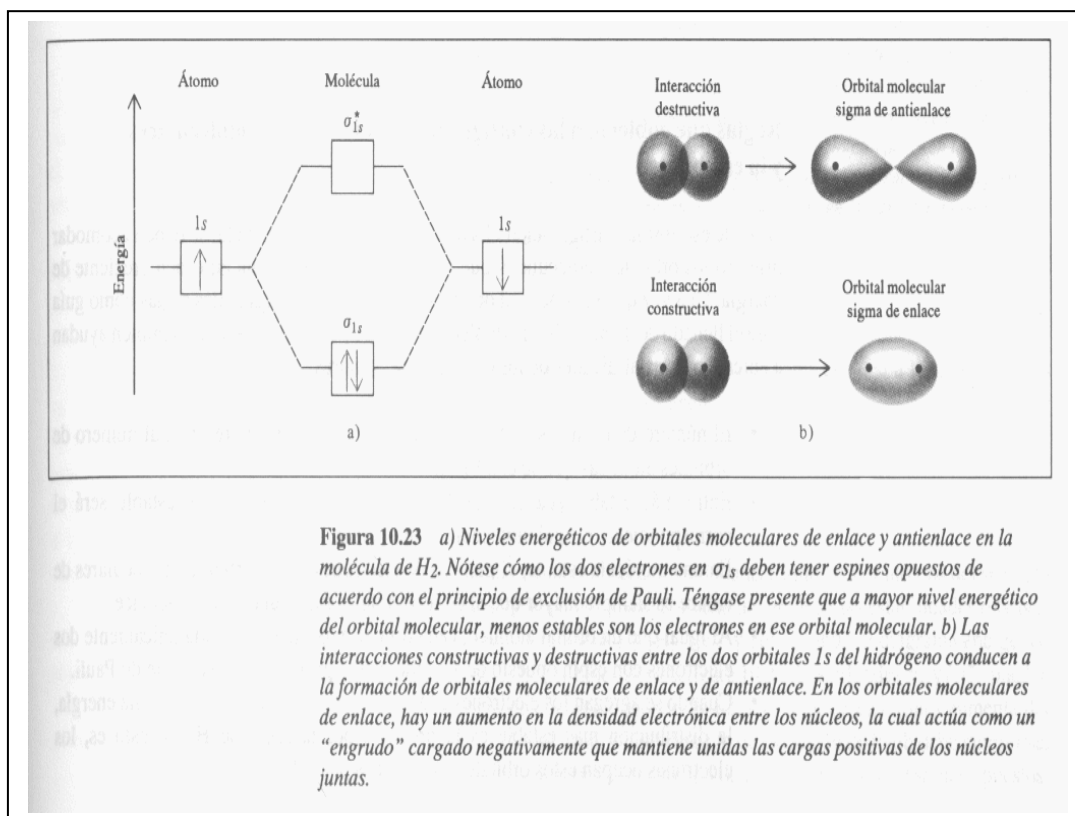


Fig. 18.16 p. 421

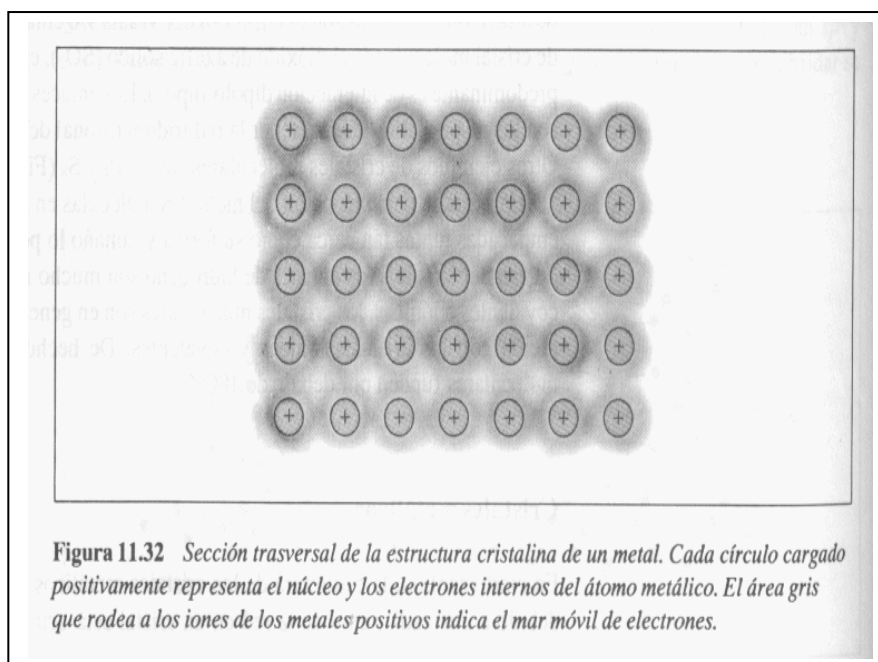


Fig. 18.17 p. 468

FIGURA	CATEGORÍAS			
	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
18.1	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
18.2	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
18.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
18.4	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
18.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
18.6	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
18.7	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
18.8	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
18.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
18.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
18.11	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS), DIBUJO FIGURATIVO (VARILLAS, BOLAS Y VARILLAS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA

18.12	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OM Y CUÑAS)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.13	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.14	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA Y OM)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.15	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.16	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS(OTRO) Y DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.17	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL

Las imágenes anteriores, se encuentran distribuidas en los siguientes dos capítulos: “Enlace químico I: conceptos básicos” y “Enlace químico II: geometría molecular y orbitales moleculares”. En el primer capítulo, se desarrollan los siguientes temas: símbolos de puntos de Lewis, elementos que forman compuestos iónicos, la energía reticular de los compuestos iónicos, el enlace covalente, electronegatividad, escritura de las estructuras de Lewis, carga formal y estructura de Lewis, el concepto de resonancia, excepciones a la regla del octeto, fuerza del enlace covalente. Entre los temas desarrollados, se intercala un apartado que se titula: la Química en acción: el cloruro de sodio, un compuesto iónico común e importante. Este artículo trata las propiedades del cloruro de sodio y fuente de obtención, también incluye fotografías del mineral, de una mina de sal subterránea y del proceso de evaporación solar para la obtención de cloruro de sodio. Para finalizar el capítulo, se proponen una serie de ejercicios específicos para cada tema desarrollado que consisten en un cuestionario de repaso y problemas. En el segundo capítulo, se abordan los temas siguientes: geometría molecular, momentos dipolo, teoría del enlace valencia, hibridación de orbitales atómicos, la hibridación en moléculas formadas por dobles y triples enlaces, teoría del orbital molecular, configuraciones de orbitales moleculares, orbitales moleculares deslocalizados. Al igual que en el capítulo anterior, se intercala el apartado la Química en acción donde se trata el tema de modelos moleculares. El capítulo finaliza con una serie de cuestionarios y problemas propuestos para cada tema desarrollado.

Descripción y aplicación son las funciones de la secuencia didáctica en la que mayormente aparecen las imágenes. Esto se debe, como en muchos casos anteriores, que el texto desarrolla un concepto o un fenómeno, a partir de la descripción del mismo con un caso particular que funcionaría como ejemplo.

Es gratamente sorprendente encontrar que la relación de las imágenes con el texto sea, en la mayoría de los casos, del tipo sinóptica, donde el texto además de hacer referencia a los elementos de las imágenes, establece una explicación detallada de la misma lo que facilita su interpretación.

Con respecto a las etiquetas verbales, aparecen de manera proporcionada las figuras que no poseen etiquetas, las que son relacionales y las nominativas. En los casos de las imágenes que no poseen etiquetas verbales, la relación de estas imágenes con el texto es sinóptica o denotativa, con lo cual la imagen está referenciada por el texto.

En relación al grado de iconicidad de las imágenes, podemos considerar que prevalecen las de Lewis, CLOA y rayas. Estas imágenes corresponden a modelos de alto nivel e involucran un lenguaje formal y también gráfico (por las representaciones CLOA). Según la clasificación de Perales y Jiménez (2002, 2004) estas ilustraciones estarían incluidas en la categoría de dibujo esquemático + signos (representaciones CLOA) y descripción en signos normalizados (representaciones de Lewis y diagrama de rayas).

Es de destacar que, en general, las imágenes de este capítulo presentan 2 o 3 modelos para una determinada molécula, tal es el caso de las figuras 18.4, 18.6, 18.7, entre otras, que muestran representaciones de Lewis y diagrama de rayas para las moléculas de agua, dióxido de carbono, eteno y nitrógeno. Este tipo de imágenes trabajadas con un análisis minucioso, donde se le explique a los estudiantes qué representan cada una de ellas y qué códigos tienen implícitos, sin duda favorecerán el aprendizaje.

5.1 Resultados globales para los libros de texto para estudiantes de 18 años

La aplicación de nuestro instrumento de análisis a la muestra de los seis libros de texto universitarios, revela ciertas regularidades en cuanto a las imágenes usadas para la enseñanza de los enlaces químicos.

En la tabla 19 se exponen los resultados conjuntos de las categorías analizadas.

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
13.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.2	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO (BOLAS Y VARILLAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.3	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.4	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
13.5	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.6	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
13.7	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.8	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
13.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	SIN ETIQUETA
13.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
13.11	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.12	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.13	DEFINICIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
13.14	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL
13.15	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
13.16	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.1	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
14.2	APLICACIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.4	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
14.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.6	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
14.7	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
14.8	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
14.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
14.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.11	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO) Y DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.12	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
14.13	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.14	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.15	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.16	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.17	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.18	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.19	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
14.20	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS), DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA) Y DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.21	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	CONNOTATIVA	NOMINATIVA
14.22	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS), DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO Y CLOA)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
14.23	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS), DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO Y CLOA)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.1	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (NIVELES ELECTRÓNICOS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.2	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
15.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.4	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL
15.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
15.6	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.7	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
15.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
16.1	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.2	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.4	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL
16.5	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.6	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.7	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OM)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.9	INTERPRETACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
16.10	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
16.11	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO) Y DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.1	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
17.2	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
17.3	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
17.4	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
17.5	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.6	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.7	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.8	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
17.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
18.1	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
18.2	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
18.3	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	NOMINATIVA
18.4	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
18.5	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
18.6	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
18.7	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS Y RAYAS)	DENOTATIVA	NOMINATIVA
18.8	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (LEWIS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA
18.9	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	DENOTATIVA	SIN ETIQUETA

FIGURA	FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	GRADO DE ICONICIDAD / MODELO	RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	ETIQUETA VERBAL
18.10	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
18.11	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (RAYAS), DIBUJO FIGURATIVO (VARILLAS, BOLAS Y VARILLAS)	SINÓPTICA	SIN ETIQUETA
18.12	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OM Y CUÑAS)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.13	APLICACIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.14	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (CLOA Y OM)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.15	DESCRIPCIÓN	DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.16	INTERPRETACIÓN	DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS (OTRO) Y DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS (OTRO)	SINÓPTICA	RELACIONAL
18.17	DESCRIPCIÓN	DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS (OTRO)	DENOTATIVA	RELACIONAL

Tabla 19. Resultados conjuntos de las categorías analizadas en libros de texto universitarios.

En las tablas 20 a 23 se ha contabilizado el número de imágenes en cada categoría.

FUNCIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA	CANTIDAD DE IMÁGENES
DESCRIPCIÓN	32
APLICACIÓN	28
INTERPRETACIÓN	19
DEFINICIÓN	5
TOTAL	84

Tabla 20. Nº de imágenes en la categoría de la función de la secuencia didáctica en libros de texto universitarios.

GRADO DE ICONICIDAD	MODELO	CANTIDAD DE IMÁGENES	TOTAL
DIBUJO FIGURATIVO	BOLAS Y VARILLAS	3	4
	VARILLAS	1	
DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS	NIVELES ELECTRÓNICOS	2	3
	OTROS	1	
DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS	CLOA	5	40
	OM	2	
	CUÑAS	1	
	OTROS	32	
DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS	LEWIS	31	56
	DIAGRAMA DE RAYAS	13	
	OTROS	12	
TOTAL			103

Tabla 21. N° de imágenes en la categoría del grado de iconicidad en libros de texto universitarios.

RELACIÓN CON EL TEXTO PRINCIPAL	CANTIDAD DE IMÁGENES
CONNOTATIVA	3
DENOTATIVA	43
SINÓPTICA	38
TOTAL	84

Tabla 22. N° de imágenes en la categoría de la relación con el texto principal en libros de texto universitarios.

ETIQUETA VERBAL	CANTIDAD DE IMÁGENES
SIN ETIQUETA	20
NOMINATIVA	51
RELACIONAL	13
TOTAL	84

Tabla 23. N° de imágenes en la categoría de la etiqueta verbal en libros de texto universitarios.

El análisis de estos resultados revela, en relación a la *función de la secuencia didáctica en la que aparecen las imágenes*, que predominan la descripción y la aplicación, tal como se aprecia en la tabla 20. Al igual que en el análisis de los libros de EGB 3 y Polimodal (ambos ahora llamados secundaria), podríamos afirmar que sigue manteniéndose el estilo del discurso expositivo, en el que, a partir de la descripción de un fenómeno, se concluye con la correspondiente aplicación. Así mismo las actividades de problematización por lo general están al finalizar el capítulo, exceptuando el libro N° 18 que contiene ejercicios y preguntas intercalados con el desarrollo de los temas abordados.

La tabla 21 muestra el número de imágenes que corresponde a los diferentes grados de *iconicidad* encontrados. El número de imágenes analizadas en los 6 libros de texto es 84, sin embargo, si sumamos las cifras que aparecen en la

columna de la derecha de esta tabla, obtenemos 103. Este valor se justifica porque muchas de las imágenes analizadas contienen varias representaciones conjuntas. Si se agrupan las representaciones de Lewis y los dibujos esquemáticos más signos (modelos de cuñas, orbitales atómicos, orbitales moleculares, representaciones que muestran el proceso de formación de orbitales moleculares a partir de orbitales atómicos, orbitales híbridos, distribución de electrones en los orbitales atómicos), se alcanza el 60% del total (103) de las imágenes. Estos modelos utilizados permiten visualizar los electrones que forman los enlaces, los electrones libres, los ángulos de enlace y además dan una idea de la representación tridimensional de la molécula. Evidentemente estas ilustraciones son coherentes con las intenciones de sus autores, de mostrar los contenidos desde el punto de vista cuántico.

En cuanto a la *relación de las imágenes con el texto principal*, la tabla 22 muestra que predomina la denotativa, es decir aquella en la que el texto establece la correspondencia con la imagen, pero sin dar claves para interpretarla. Con respecto a las *etiquetas verbales*, en la tabla 23 vemos que prevalecen las nominativas, es decir aquellas que contienen letras o palabras que identifican los elementos de la figura. No obstante, el 45% de las imágenes (es decir 38) tienen relación sinóptica con el texto principal de modo que forman una unidad con él. Estas figuras tienen etiquetas verbales nominativas o relacionales (excepto en las figuras 14.1 y 14.6 que no tienen etiqueta). Esta característica estaría de acuerdo con nuestros conocimientos sobre cómo favorecer el aprendizaje, pues existen investigaciones que sostienen que la unidad entre el discurso verbal y el discurso icónico mejorarían el aprendizaje, de modo tal que es previsible encontrar relaciones entre texto e imagen del tipo sinóptica y con etiquetas nominativas y relacionales, máxime tratándose de contenidos abstractos.

Con respecto al *contenido científico que sustenta estas imágenes*, el tratamiento que se le da al tema en estos libros universitarios, es más específico, profundo y abstracto, como es de esperar.

A diferencia de los libros de polimodal (ahora denominados libros de secundaria) donde las imágenes están situadas en los capítulos denominados: *uniones químicas, enlaces químicos y unión química y estructura molecular*, en los libros universitarios, están ubicadas en los capítulos siguientes: *el enlace químico, teoría del enlace, estructura atómica III: valencia y estructura molecular, estructura*

electrónica molecular (inserto en el apartado denominado *química cuántica, naturaleza del enlace químico*, y finalmente, el libro 18, que dedica dos capítulos: *enlace químico I: conceptos básicos* y *enlace químico II: geometría molecular y orbitales moleculares*. Vemos que se hace más hincapié en la naturaleza cuántica del enlace químico y en la geometría molecular, en otras palabras, se hace un abordaje más profundo y complejo del tema, como es de esperar.

6. COMPARACIÓN LIBROS DE TEXTO PARA ESTUDIANTES DE 12 AÑOS (EGB 3) / 15 AÑOS (POLIMODAL) / 18 AÑOS (UNIVERSIDAD)

Si comparamos el nivel de *iconicidad* de las ilustraciones de los libros de EGB3, Polimodal (actualmente secundaria) y universidad, se pueden agrupar el número de imágenes que exige un conocimiento de la configuración electrónica de los elementos bajo el epígrafe de *modelos de alto nivel*, frente al número de imágenes o *modelos de bajo nivel* para denominar a los que no tienen esa exigencia conceptual. Haciéndolo así, se obtiene la tabla 24, donde se observa que los porcentajes de los grupos de modelos se invierten. Esto es, en EGB 3, el 65% de las imágenes son modelos de bajo nivel, frente al 35% que son de alto nivel. En Polimodal, ocurre prácticamente lo contrario, de modo que el 25% son de bajo nivel, frente al 75% de alto nivel. Por último en los libros universitarios, la diferencia es aún mayor, pues apenas un 5% son modelos de bajo nivel y un 95% son modelos de alto nivel (ver tabla 24).

Por otro lado, teniendo en cuenta los lenguajes implicados en estos modelos, se puede concluir que los autores de libros de texto apuestan mayoritariamente por modelos con lenguajes gráficos para los alumnos de doce años, mientras que prefieren los modelos con lenguajes más formales para los de quince y más aún para los alumnos universitarios.

Finalmente, para concluir con este apartado, en el cual hemos analizado las imágenes de enlace químico en los libros de texto de mayor abundancia en el mercado, tanto para secundaria como para la universidad, esbozaremos algunas reflexiones finales.

GRADO DE ICONICIDAD	MODELO	NIVEL	LENGUAJE	Nº DE IMÁGENES		
				EGB 3	POLIMODAL	UNIVERSIDAD
				SECUNDARIO		
DIBUJO FIGURATIVO	BOLAS Y VARILLAS	BAJO	GRÁFICO	2	3	3
	FUSIONADO	BAJO	GRÁFICO	-	6	-
	BOLAS	BAJO	GRÁFICO	4	3	-
	VARILLAS	BAJO	GRÁFICO	-	-	1
	OTROS	BAJO	GRÁFICO	3	1	-
DIBUJO FIGURATIVO MÁS SIGNOS	NIVELES ELECTRÓNICOS	ALTO	FORMAL	3	10	2
	OTROS	BAJO	GRÁFICO	2	3	1
DIBUJO ESQUEMÁTICO MÁS SIGNOS	CLOA	ALTO	GRÁFICO FORMAL	-	2	5
	OM	ALTO	GRÁFICO FORMAL	-	1	2
	CUÑAS	ALTO	FORMAL	-	1	1
	OTROS	ALTO	GRÁFICO FORMAL	-	1	32
DESCRIPCIÓN EN SIGNOS NORMALIZADOS	LEWIS	ALTO	FORMAL	2	39	31
	DIAGRAMA DE RAYAS	ALTO	FORMAL	1	14	13
	MOLECULAR	BAJO	FORMAL	-	6	-
	OTROS	ALTO	FORMAL	-	-	12
TOTAL				17	90	103
TOTAL MODELOS BAJO NIVEL				11(65%)	23 (25%)	5 (5%)
TOTAL MODELOS ALTO NIVEL				6(35%)	67(75%)	98 (95%)

Tabla 24. Comparación del grado de iconicidad, modelo, nivel y lenguaje de las imágenes en libros de secundaria y universidad.

7. REFLEXIONES FINALES

a) La taxonomía de Perales Palacios y Jiménez Valladares (2004), inicialmente diseñada para el análisis de las ilustraciones sobre mecánica elemental en los libros

de texto, se ha mostrado útil en este trabajo para decodificar las imágenes relacionadas con el enlace químico. La adaptación necesaria para ello ha afectado solamente a ciertas categorías de análisis; principalmente al grado de iconicidad, donde se ha dado cabida, como no podía ser menos, a los modelos estandarizados para la representación molecular (modelo de bolas, varillas, Lewis, etc.) (Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios, 2008).

b) Comenzando por el análisis realizado respecto a las *funciones de las secuencias didácticas* que los autores de los libros de texto acompañan de ilustraciones, los resultados, comunes tanto en libros para estudiantes de doce años (EGB 3) como para alumnos de quince años (Polimodal), muestran que la función de estas secuencias en el texto es la de *descripción*, en muchas ocasiones seguida de la *definición y aplicación*, en el conjunto de las unidades de secuencia. Característica que se repite en los libros para alumnos de dieciocho años (universitarios), en los cuales además de la descripción, predomina también la aplicación (Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios, 2008). Esto parece sugerir un discurso expositivo, con escasez de elementos problemáticos y divergentes.

c) Siguiendo con la característica de las ilustraciones denominada *grado de iconicidad*, existe una variedad manifiesta en todos los niveles analizados. No obstante lo anterior, la tendencia mayoritaria muestra el uso de *imágenes figurativas o de modelos de bolas* en libros para estudiantes de doce años (EGB 3), los modelos de *Lewis, rayas o de niveles electrónicos* en libros para estudiantes de quince años (Polimodal) y tanto los *dibujos esquemáticos más signos* (proceso de formación de orbitales moleculares, orbitales híbridos, distribución de electrones en orbitales) como las *representaciones de Lewis*, son representativas del nivel universitario.

Esto es, a los doce años de edad, el objetivo parece ser mostrar el concepto de reacción química o de sustancia química usando modelos evocadores de la realidad o que traten de simularla. A los quince años, son más frecuentes los modelos que exigen la comprensión de la configuración electrónica de los átomos, o modelos de mayor nivel de formalidad y complejidad conceptual, al igual que para alumnos universitarios donde son frecuentes los modelos atómicos ondulatorios o cuánticos (Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios, 2008).

Como vimos en el marco teórico, parece demostrado que el proceso de explicación de un fenómeno a través de diferentes modelos e imágenes induce a establecer

nuevas relaciones y favorece la comprensión tanto de los mismos modelos como del proceso de modelización (Treagust y otros, 2000). Por tanto, utilizar distintas imágenes para representar una molécula, posibilita tener una buena comprensión del enlace químico, ya que las distintas características de los diferentes modelos representan distintos aspectos de la molécula. No obstante, el grado de iconicidad de los modelos utilizados refleja un diferente nivel de abstracción. Los autores de libros de texto, ante la falta de investigaciones precisas que sugieran los modelos más beneficiosos para los distintos niveles educativos, toman determinaciones basadas en la complejidad científica de los mismos. Sin embargo, el carácter polisémico de las imágenes hace que sea difícil predecir cuál va a ser la interpretación que una persona va a realizar sobre una determinada ilustración. Esta especificidad de la imagen como instrumento de comunicación abierto o ambiguo, plantea un problema educativo que afecta a los investigadores, editores, profesores y estudiantes.

Respecto a las *relaciones entre el texto y la imagen*, Matus Leites, Benarroch y Perales Palacios (2008) consideran que hay una tendencia mayoritaria, tanto en EGB 3 como en Polimodal, que se resume en un abandono de dichas relaciones. Esto implica que se hace poco caso a las evidencias empíricas de que la concurrencia, en el sentido de apoyo, convergencia, entre palabras e imágenes, mejora el aprendizaje. Sin embargo en los libros universitarios, si bien prevalece la relación denotativa, existe un alto porcentaje que establece una relación sinóptica entre las imágenes y el texto principal de modo que forman una unidad con él, relación por demás importante y necesaria dado la complejidad del tema.

Perales y Jiménez (2002) apuntaron, tres razones para justificar la insuficiente conexión entre texto e imágenes, a saber:

- ✓ Un exagerado optimismo respecto a la facilidad con que procesamos las imágenes. Dicho de otro modo, como afirmábamos anteriormente, la firme convicción de que las imágenes que percibimos se “instalan” en nuestro cerebro como un modelo mental de la realidad.
- ✓ La minimización de las dificultades de interpretación de los elementos simbólicos utilizados en la representación.
- ✓ La consideración de que la ilustración es un elemento superfluo que se añade al texto y que no juega un papel esencial en el aprendizaje de los enlaces químicos.

Sin embargo, si la coherencia entre el lenguaje verbal y el visual usados en la enseñanza es un factor de gran ayuda para cualquier contenido, en el caso las imágenes empleadas en el enlace químico, esta coherencia es indispensable. Son imágenes que no muestran el mundo, sino que lo transforman (lo “modelizan”) con la intención de evidenciar relaciones o ideas no evidentes por sí mismas, a fin de facilitar su comprensión por parte del lector. No obstante, dado que se trata de imágenes complejas que acompañan a textos complejos, insistimos una vez más en la necesidad de que los autores e ilustradores cuiden estas relaciones texto-imagen con vistas a conformar un cuerpo de información coherente.

8. IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Finalmente deseamos establecer, a partir de los datos expuestos anteriormente, algunas derivaciones de carácter aplicado dirigidas al profesorado que es, en definitiva, el que se enfrenta a libros de texto con ilustraciones como las que aquí hemos tratado de caracterizar y analizar.

En primer lugar, sería conveniente reflexionar acerca de la pertinencia de las creencias “populares” acerca de la naturaleza psicodidáctica de las ilustraciones que mostrábamos en el apartado de bases teóricas.

Al respecto, es incuestionable la necesidad de que el profesor programe actividades específicas cuyo objetivo sea optimizar los efectos positivos que las imágenes o modelos tienen sobre el aprendizaje. Estas actividades orientadas a la lectura de las imágenes deberían enfocarse hacia la interpretación del lenguaje icónico, a la comparación de diferentes imágenes con distinto grado de iconicidad, al análisis de diferentes modelos para un mismo fenómeno y la consideración de las ventajas y desventajas de los mismos así como sus códigos y simbología.

Particularmente relevante nos parece la elección apropiada de sustancias químicas y hechos experimentales a los que se les pueda asociar las representaciones simbólicas convenientes en los distintos niveles educativos. Como demuestran todos los estudios al respecto, el alumno carece del bagaje experiencial necesario para comprender las representaciones que se les proponen. Aunque éstas tengan sentido en el seno de los modelos atómicos y moleculares correspondientes, el verdadero significado de las mismas se adquiere en el ámbito macroscópico al que sirven de referencia. Cuando aprendemos el lenguaje verbal, no nos planteamos por qué el término silla identifica al objeto de cuatro patas que sirve para sentarse.

Lo aprendemos sin más y nos comunicamos con ese término. Del mismo modo, cuando aprendemos química, podemos usar el lenguaje simbólico a modo de etiquetado, dejando la fase interpretativa del porqué de esa etiqueta y no otra para el momento en que aprendamos los modelos químicos.

En este sentido, esto es, en cuanto al nivel teórico-conceptual asociado a las representaciones de enlaces químicos, este análisis muestra las siguientes tendencias mayoritarias:

- En los libros para estudiantes de doce años, son frecuentes las representaciones asociadas a modelos atómicos que hemos llamado de bajo nivel, esto es, que no requieren la comprensión de la configuración electrónica atómica.
- En los libros para estudiantes de quince años, en cambio, son mayoritarias las representaciones asociadas a modelos atómicos de alto nivel o modelos que requieren del conocimiento de la configuración electrónica de los átomos.
- Por último, en los universitarios (dieciocho años), las representaciones requieren para su comprensión modelos de alto nivel y concretamente, dentro de ellos, los modelos ondulatorios o cuánticos.

Paralelamente, y reclamando el papel del profesor como comunicador multimodal de las ciencias, es positivo utilizar otras formas de representación tridimensionales para modelizar las sustancias químicas, ya mediante modelos didácticos de las estructuras químicas, o modelos de plastilina hechos por los mismos alumnos, o mediante simulaciones por ordenador. Es imprescindible acompañar estas actividades de tareas que obliguen a los alumnos a argumentar, compartir y comunicar los códigos utilizados.

Capítulo 4

HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1. INTRODUCCIÓN: PRESUPUESTOS METODOLÓGICOS

En cualquier investigación donde se pretende delimitar la construcción del conocimiento del alumno sobre un contenido de enseñanza, es necesario distinguir tres planos de trabajo, que ubican categóricamente cada dato o procedimiento de ésta en su justo sitio (Benarroch, 1998).

- El primer plano está situado allí donde se producen las interacciones del sujeto con las tareas físicas planteadas, con los materiales, con el mundo físico. Es un plano observable y manipulable.
- El segundo plano está situado donde se producen las reacciones del sujeto ante los problemas y situaciones planteadas en el primer plano. En general, las respuestas, entendidas como cualquier reacción del sujeto ante una situación problemática, son verbales, pero también en otros casos pueden no ser verbales sino procedimentales. Por ejemplo, pueden ser gráficas si se le pide al alumno que haga un dibujo, o pueden ser motrices si se le pide que realice una acción. Este segundo plano es menos manipulable que el primero; de hecho, la única manipulación posible es indirecta, pues se

reduce a la que se puede hacer a través del primer plano, mediante las cuestiones que se le plantean, que sí se pueden controlar.

- Por último, el tercer plano, se refiere a la representación teórica de la actividad mental que el sujeto debe llevar a cabo para resolver la situación planteada.

Concretamente, supongamos que el sujeto se encuentra frente a la tarea de modelizar la molécula de dióxido de carbono con bolas y varillas. En un primer plano, tenemos al sujeto que visualiza, que interacciona con las bolas de color rojo, que representan los átomos de oxígeno, y las bolas de color negro, que representan los átomos de carbono, y las varillas. La reacción del sujeto es la determinación que toma respecto a la modelización de la molécula: ¿cuántas esferas he de tomar de cada tipo?, ¿coloco la esfera que representa al carbono y a continuación las esferas que representan al oxígeno?, ¿coloco la esfera que representa al carbono en el centro y a ambos lados las esferas que representan al oxígeno?, ¿uno las esferas con una varilla indicando un enlace simple?, ¿uno las esferas con dos varillas indicando un enlace doble?

Según el esquema teórico usado para esta investigación, en estas reacciones del sujeto intervienen los siguientes elementos cognoscitivos:

- Los elementos figurativos de la tarea: esferas de distintos color y tamaño, varillas, etc. que, de no ser por la actuación de los esquemas específicos y operatorios que vamos a citar, no se relacionan respectivamente con átomos y enlaces químicos.
- Sus esquemas específicos: conocimientos relacionados con la molécula de dióxido de carbono. Concretamente, que el átomo de oxígeno es de mayor volumen que el átomo de carbono, que un enlace se puede representar con una varilla, e incluso que éste representa dos electrones (esto último implicaría un nivel de esquemas específicos mayor).
- Sus esquemas operatorios: que le permiten manipular mentalmente los átomos y los enlaces para construir una molécula, concebida como la parte estructural mínima de la sustancia.

Consideramos que las respuestas de los alumnos pueden estar reflejando o no sus esquemas cognoscitivos. En general, cuanto mayor sea la intervención de los esquemas, más transformación del dictado figurativo de los datos habrá, y mejor

reflejan las respuestas la actividad cognoscitiva de los sujetos. Por el contrario, si no hay activación de los esquemas, las respuestas obtenidas se imitarán a reproducir los datos de la cuestión planteada y poco o nada reflejarán la actividad cognoscitiva.

De acuerdo con Benarroch (1998) uno de los mayores problemas que el investigador tiene que afrontar cuando desea delimitar el conocimiento del estudiante sobre un contenido de enseñanza, es distinguir entre las respuestas que reflejan el conocimiento de aquellas otras que no son más que respuestas de compromiso, inventadas o al azar. Efectivamente, las relaciones entre el primer y segundo plano, no son siempre uniformes, pues ante una situación problemática podría ocurrir que el sujeto:

- a) Posea cierto conocimiento (esquemas cognitivos) que le permitiría responder dando respuestas satisfactorias o en la dirección acertada, o bien, dando soluciones que, aún no siendo correctas ni en la dirección acertada, son coherentes con su punto de vista para apreciar el sector fenomenológico de la realidad a la que pertenece la situación problemática.
- b) Teniendo el conocimiento necesario para responder de acuerdo al ítem anterior, la actividad de sus esquemas se vea perturbada, por ejemplo por esquemas afectivos, y, en consecuencia, no llegue a dar respuestas más elaboradas.
- c) No posea ningún conocimiento que le permita dar, con cierta coherencia, alguna respuesta, al menos para la tarea propuesta. En tal caso, puede admitirlo o dar una respuesta de compromiso, al azar o inventada.

Desde la investigación, es anhelado encontrar respuestas del tipo (a), pues son las que mejor reflejan el conocimiento del sujeto sobre la situación problemática planteada. Establecer el valor de respuestas tipo (b) y (c) es más complejo, pues es posible que el sujeto no haya tenido la oportunidad de activar aquellos esquemas que posee relacionados con el tema en cuestión, ya sea por el modo de plantear las tareas, por el grado de dificultad de la misma o por la elección de la fenomenología asociada al contenido (Benarroch, 1998).

Todo lo anterior lleva a la conclusión destacable de que, entre las respuestas del sujeto, podemos distinguir aquellas que son significativas y las que no lo son. Las significativas, introducen datos nuevos y ofrecen nuevas relaciones entre los datos

iniciales. Son equivalentes a las respuestas del tipo (a). El objetivo de una buena metodología de investigación será el de maximizar las respuestas significativas en la medida de lo posible.

Las investigaciones empíricas han puesto de manifiesto la fuerte dependencia de las respuestas de los sujetos de las distintas situaciones a las que se enfrenta; esto es, son dependientes del contenido. En este sentido, cuanto más regularidades se encuentren entre las respuestas a los distintos fenómenos y situaciones, más se elimina la influencia de las variables de tarea y, por lo tanto, más cerca estamos de la estructura cognitiva del sujeto. Este hecho hace que cualquier investigación que trate de indagar en la construcción del conocimiento del estudiante, no pueda quedar limitada a pocas preguntas aisladas entre sí. Éstas pueden aportar respuestas, pero no esquemas explicativos. Las reconstrucciones o modelizaciones que realiza el investigador, derivadas de las respuestas y explicaciones del sujeto que presentan las regularidades de repetición, generalización y diferenciación, son los esquemas explicativos. La detección de la presencia de los esquemas explicativos es un objetivo prioritario de esta investigación, pues aparentemente reflejan los esquemas cognitivos del sujeto.

Acordamos con Benarroch (1998) que la finalidad de una estrategia metodológica, que intente alcanzar los esquemas explicativos, será maximizar, entre las respuestas de los alumnos, la proporción de respuestas significativas. De ahí la importancia de plantear con mucho cuidado el plano donde se dan las reacciones del sujeto con las tareas, al ser en definitiva el único plano manipulable por el investigador. Respecto a este plano, explicitaremos algunos presupuestos metodológicos derivados del marco teórico de esta investigación.

1. Dado el carácter no observable del conocimiento del estudiante, éste resulta inalcanzable. Es a través de un proceso de aproximaciones sucesivas (respuestas del sujeto, esquemas explicativos) como podemos obtener información que sea reflejo de sus esquemas de conocimiento. En este sentido, no existe un cuestionario que pueda obtener la categoría de definitivo (Benarroch, 1998).
2. Las situaciones físicas planteadas deben asegurar que los sujetos poseen algún conocimiento de las mismas, pues, de lo contrario, frecuentemente acudirán a analogías creadas in situ, respuestas de compromiso, o

respuestas que admiten su desconocimiento (respuestas no significativas) (Benarroch, 1998).

3. Los sujetos pueden manifestar tres tipos de reacciones ante perturbaciones exteriores:
 - Conductas de tipo alfa: ocurren cuando ante un hecho nuevo no se produce ninguna modificación en el sistema cognitivo, de manera que la perturbación es anulada (Marín, 1995).
 - Conductas de tipo beta: se manifiestan cuando el elemento perturbador externo se integra en el sistema cognitivo (Marín, 1995).
 - Conductas de tipo gamma: son conductas de tipo superior que consisten en anticipar las variaciones posibles.

Estas reacciones son una medida del potencial de los esquemas activados y, por lo tanto, del grado de madurez y desarrollo de los mismos. La ausencia de estas conductas, lleva a que el investigador tenga una visión limitada del esquema cognitivo por lo que se obtienen datos más sesgados que si se entra en una dinámica interactiva. Por lo tanto, en la toma de datos, es necesario poner en juego una dinámica de conflictos cognitivos o contrapruebas que permitan comparar resultados previstos con los empíricos y realizar reajustes retroactivos en función de dichos resultados.

4. Marín Martínez y Benarroch (1998) menciona algunas diferencias entre el conocimiento académico y el conocimiento del alumno, tales como: el alumno tiene ideas que no se corresponden con las académicas, existen contenidos académicos sobre los que el alumno no tiene conocimiento, la forma de procesar los datos empíricos, tanto para asimilarlos como para operar con ellos se diferencia de los procedimientos hipotéticos deductivos característicos del conocimiento académico. Estas diferencias ponen ciertas dudas a la hora de considerar el conocimiento académico como referente válido para realizar las indagaciones, descripciones e interpretaciones del conocimiento del alumno (Marín, Solano y Jiménez Gómez, 1996, citado en Marín Martínez y Benarroch (1998). Por lo expuesto, para describir el conocimiento del alumno, con cierta independencia del contenido habría que evitar dar prioridad al conocimiento académico sobre el cotidiano del alumno. A tal fin, Marín Martínez y Benarroch (1998) y Benarroch (1998)

sugieren que en los cuestionarios se utilicen situaciones problemáticas donde se solicite al alumno explicaciones, previsiones, soluciones, relacionar datos, etc. Es decir cuestiones donde se activen los esquemas del alumno y pongan en juego el significado del contenido académico. De este modo, el alumno expresará su conocimiento más libremente que a través de preguntas ajustadas, encorsetadas que podrían desencadenar en respuestas de compromiso. De lo anterior, vemos que lo que debe interesar al investigador es la semántica, es decir indagar en el significado de las expresiones del alumno. Concluimos por tanto que trataremos de indagar más en el significado de las respuestas de los alumnos que en los significantes que puedan utilizar (signos, símbolos, palabras, etc.), pues aquellos aportan mejor información de sus esquemas cognoscitivos.

5. La técnica de entrevista individual es la más adecuada para acercarse al conocimiento del alumno (Benarroch, 1998). En una entrevista individual bien construida, las preguntas iniciales que figuran en el cuestionario están bastante más relacionadas con el contenido académico, pero las “segundas” y “terceras” preguntas, que no aparecen explícitas en el cuestionario, construidas sobre el punto de vista que expresa el sujeto, están más acomodadas a los esquemas cognoscitivos del entrevistado.

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

En este apartado describiremos las hipótesis que deberán ser contrastadas en esta investigación. Proponemos tres tipos de hipótesis:

1. Aquellas que pretenden contrastar algunos presupuestos metodológicos mencionados anteriormente.
2. Las que están relacionadas con el contenido de enlace químico.
3. Las destinadas a valorar el modelo cognitivo propuesto en este trabajo.

2.1 Hipótesis relacionadas con la metodología usada en esta investigación para conocer los esquemas explicativos de los estudiantes

- **H.1 Es posible, usando una metodología adecuada, alcanzar los sucesivos niveles explicativos relacionados con el enlace químico que los estudiantes construyen en interacción con el sistema educativo.**

La investigación realizada hasta el momento sobre los enlaces químicos pone de relieve las dificultades de los alumnos con este contenido de enseñanza, pero no nos aporta ninguna información de los sucesivos niveles construidos a lo largo del contacto con el sistema educativo, lo que nos daría una imagen progresiva de la construcción del conocimiento del estudiante relacionada con este contenido concreto, útil tanto para el diseño curricular como para los procesos de enseñanza-aprendizaje en un aula concreta, permitiendo la atención a la diversidad y facilitando la elección de las tareas y actividades que ayudan a los alumnos a acceder a niveles superiores de conocimiento en este contenido. Esta investigación se ha diseñado con la hipótesis de que es posible alcanzar los sucesivos niveles explicativos para el contenido del enlace químico. Si la hipótesis saliera rechazada, se podría pensar que el diseño metodológico no es el adecuado, o bien, que el aparato teórico que lo sustenta tampoco lo es.

- **H.2 No todas las respuestas de los estudiantes son útiles para conocer sus esquemas explicativos. Muchas de las mismas son de compromiso, al azar y por lo tanto reflejan su desconocimiento.**

Aceptando que el conocimiento del sujeto es no observable y que sólo podemos acercarnos a él mediante un proceso de aproximación progresiva, uno de los principales problemas con los que nos enfrentamos es el de diferenciar entre respuestas significativas y no significativas. Metodológicamente hablando, esto lleva a ser incisivos en sus respuestas, modificar de modo progresivo la dificultad de las preguntas, con el objetivo de diferenciar si la primera respuesta dada es de compromiso o azar, o, si por el contrario, refleja realmente algún esquema de conocimiento.

- **H.3 Los esquemas explicativos de los sujetos, como reflejo de su verdadero conocimiento, muestran que éste evoluciona coherentemente con sus capacidades cognitivas.**

Esta hipótesis se puede demostrar porque las correspondencias de los esquemas explicativos con las variables del sujeto, son mayores que las

presentadas en las respuestas no significativas. Las variables del sujeto consideradas en esta investigación, son:

- **H.2.1 Edad de los estudiantes**
- **H.2.2 Nivel educativo (curso académico)**

2.2 Hipótesis fundamentadas en las investigaciones sobre concepciones en el área de enlace químico

- **H.4 Existe un paralelismo entre la progresión del conocimiento de los estudiantes en el área del enlace químico y el desarrollo filogenético en dicha área.**

Algunas concepciones alternativas recuerdan a ideas que se dieron durante determinados períodos de la historia de la ciencia. Tales son los casos de, por ejemplo, el paralelismo entre los problemas históricos habidos en la construcción de la idea de sustancia y las concepciones que tienen sobre ella los estudiantes de química de secundaria y bachillerato (Furió y Domínguez, 2006). Cabe preguntarse si eso también ocurre en el caso del enlace químico, cuyo desarrollo histórico se presenta en el marco teórico de esta investigación.

- **H.5. El conocimiento de los esquemas explicativos de los estudiantes sobre el enlace químico permite encajar adecuadamente las dificultades encontradas en las investigaciones anteriores sobre concepciones en esta área.**

Si se alcanzaran los esquemas explicativos de los estudiantes en este contenido del enlace químico, se podrían mantener la hipótesis de encajar en la progresión cognoscitiva de modo adecuado las dificultades identificadas en las investigaciones sobre concepciones en esta área. Esto sería de gran interés para el profesorado, que conocería las dificultades concretas más frecuentes en los distintos momentos de su proceso de enseñanza o del diseño curricular.

- **H.6 El conocimiento sobre enlaces químicos sirve para solucionar algunas dificultades que hay en el estudio de la materia, por ejemplo: la diferencia entre mezclas y sustancias.**

Las investigaciones recientes muestran que hay elevados porcentajes (80%) de estudiantes que no diferencian entre sustancia y material y que también confunden compuesto con una mezcla homogénea (como puede ser, por ejemplo, una disolución). Concretamente, para la mayoría de los estudiantes los sistemas químicos se reducen a dos categorías: mezclas (o sustancias compuestas) y sustancias simples (o elementos). Nos preguntamos si un mayor conocimiento de enlaces químicos podría ayudar a una reestructuración de estos conceptos.

- **H.7 Los modelos físicos de bolas y varillas pueden ayudar en la construcción de los esquemas explicativos de los alumnos en el área del enlace químico.**

Las capacidades que tengan los alumnos para construir moléculas según diferentes modelos, será un indicio de sus esquemas cognitivos y por lo tanto del nivel explicativo al que pertenezca. Al principio de la evolución cognoscitiva especialmente, postulamos que la construcción física de modelos concretos de bolas y varillas puede ayudar a conceptualizar este concepto abstracto.

- **H.8 Las imágenes usadas por los estudiantes para explicar el enlace químico están relacionadas con las imágenes usadas en la enseñanza de este contenido.**

Esta hipótesis nos llevará a analizar las imágenes construidas por los estudiantes que puedan ser representativas de cada nivel explicativo y las imágenes externas usadas en la enseñanza, alcanzando conclusiones sobre la idoneidad de las mismas, o la necesidad de modificaciones sustanciales.

2.3 Hipótesis destinadas a validar el modelo cognitivo propuesto

- **H.9 Los esquemas explicativos de los estudiantes pueden ser interpretados en función de tres elementos interrelacionados, existentes en su estructura cognitiva: los elementos figurativos, los esquemas operatorios y los esquemas específicos.**

En esta investigación pretendemos alcanzar interpretaciones e incluso predicciones sobre el conocimiento del alumno en el contenido del enlace químico. Ello supone relacionar el plano observable de las respuestas del estudiante con el plano no observable de su estructura cognitiva. Para este fin, se han definido los esquemas explicativos, que son los elementos más cercanos a la cognición del sujeto, pero situados en el plano de las reacciones del mismo. Están en la base de las explicaciones y, en general, de las respuestas obtenidas a cada una de las tareas (Benarroch, 1998).

Determinar los factores cognitivos responsables de la formación de los sucesivos esquemas explicativos, aunque sólo fuera por aproximación, aportaría la inestimable ayuda al profesor de programar sus actividades actuando directamente sobre esos factores cognitivos, con el beneficio que implica desde el punto de vista didáctico (Benarroch, 1998).

3. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Introducción: justificación y descripción de la metodología utilizada

Con nuestra investigación aspiramos a la obtención de información significativa del alumno (**niveles explicativos**) que refleje en lo posible, su verdadero conocimiento, como así también, pretendemos interpretar esa información, esos esquemas explicativos en función del modelo cognitivo, donde se interrelacionen coherentemente los esquemas de conocimiento específicos del estudiante y los esquemas operacionales. La metodología empleada en nuestro trabajo ha sido utilizada en investigaciones para describir, comprender y explicar las manifestaciones cognitivas del estudiante ante situaciones de equilibrio mecánico (Marín, 1994a, citado en Benarroch, 1998) y también en las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia (Benarroch, 1998).

Tal como lo expresáramos al principio de este apartado, el carácter de este trabajo exige una metodología que aumente las exigencias en la toma y categorización de

los datos y la misma puede ser sintetizada en los siguientes pasos (Benarroch, 1998):

1. Seleccionar una muestra de estudiantes que debería ser suficiente para recoger toda la variedad de respuestas que se pueden dar sobre la fenomenología elegida para los distintos niveles evolutivos que abarcan la educación secundaria hasta la educación universitaria. Además, es necesario obtener un número significativo de respuestas para cada uno de los niveles evolutivos involucrados.
2. Determinar las tareas significativas y fiables con la que hay que hacer interaccionar al alumno para delimitar sus esquemas explicativos ligados a los enlaces químicos. Denominamos tarea (Marín, 1994a, citado en Benarroch, 1998) al sistema formado por situaciones problemáticas, cuestiones, preguntas, demandas y modos de interacción previstos entre el entrevistado y la situación planteada. Las tareas serán significativas si en las respuestas del alumno se aprecian elementos novedosos o ausencias notables respecto a los datos que se le presentan, y fiables si se aprecia que para sujetos con determinado nivel cognitivo no existen divergencias de respuestas y no se dan respuestas de compromiso o in situ.

El diseño de estas tareas implica:

3. Determinar en cada una de ellas, tanto los factores estructurales (variables) como los factores figurativos (aspectos o elementos percibidos de la situación y de los objetos que la integran). Se busca con esto vislumbrar las respuestas del alumno que presentan las características de repetición, generalización y diferenciación, lo que permitiría alcanzar los esquemas explicativos que están en la base de las distintas explicaciones y respuestas de los alumnos.
4. Administración de las tareas a la muestra elegida. A través de la técnica de la entrevista individual, que parece la más idónea, tal como justificaremos más adelante. Los datos obtenidos se clasificarán según la capacidad transformadora de los sujetos, dando lugar a categorías de respuestas jerarquizadas (categorías empíricas).
5. El análisis estadístico de las variables del estudiante y de las categorías empíricas, permitirá ponderar el grado de fiabilidad de los datos obtenidos,

el acierto para clasificar las respuestas de los alumnos, así como detectar qué tareas han obtenido información del alumno poco fiable.

6. A partir de los datos depurados por la información anterior, se delimitarán los esquemas explicativos.
7. El análisis de los esquemas explicativos en conjunción con las variables del sujeto, permitirá ponderar la validez del modelo cognitivo propuesto para interpretar los datos obtenidos.

Esta metodología es por un lado, hipotética-deductiva, pues muchos aspectos de la misma, tales como: necesidad de variabilidad en el diseño de las tareas, en la muestra seleccionada, etc., son aspectos demandados por el marco teórico de esta investigación. Por otro lado, es también inductiva, pues la forma final del cuestionario, su validez y fiabilidad, así como la delimitación de los esquemas explicativos, se alcanzarán, en parte, por un proceso de aproximaciones sucesivas desde los datos individuales hasta su forma final (Benarroch, 1998).

3.2 Justificación de la técnica utilizada: la entrevista individual

La elección de esta técnica se fundamenta en tres razones: una referida al ámbito conceptual de los enlaces químicos, y las otras dos referidas al modelo cognitivo y de aprendizaje postulados.

1. El ámbito conceptual de la Química en general, y de los enlaces químicos en particular, se fundamenta en la interrelación de los niveles macroscópico, submicroscópico y simbólico. El aprendizaje de los enlaces químicos resulta complejo para los estudiantes, porque supone trabajar en un nivel fenomenológico, observacional y descriptivo, que ha de ser explicado mediante un conocimiento construido a través de modelos, sobre entidades no visibles. Los enlaces químicos constituyen un ámbito conceptual donde no se tiene la posibilidad de confrontar directamente las previsiones con la lectura de los datos experimentales, a diferencia de los que ocurre por ejemplo, en la construcción de las nociones de conservación del peso y del volumen. Por lo tanto, las declaraciones verbales del sujeto, en coordinación entre sí y con las manifestaciones icónicas (diferentes representaciones de

enlace químico: Lewis, rayas, molecular, etc.) son los únicos medios de los que disponemos para interpretar el conocimiento del estudiantes.

2. Las respuestas de los alumnos ante una tarea, pueden ser muy variadas y además estar influidas por aspectos cognitivos, afectivos, etc. Un primer filtro o depuración de las respuestas que no reflejen realmente sus esquemas cognitivos sobre el tema, se podría hacer en la fase de la toma de datos, eliminando el mayor número de respuestas de compromiso o explicaciones in situ. La entrevista individual es la técnica más adecuada por la posibilidad que presenta en adaptar gran parte de las preguntas al nivel cognitivo del sujeto (Benarroch, 1998).
3. El mecanismo de cambio y adaptación de los esquemas del sujeto ante sus observaciones y/o las observaciones del entrevistador, supone que el sujeto avanza según comprobaciones y rectificaciones y no de manera lineal (Benarroch, 1998).

Marín (1994a, citado en Benarroch, 1998) reúne las mejores sugerencias dadas por Piaget sobre las particularidades y exigencias de la entrevista individual. A continuación, exponemos las que se relacionan directamente con nuestro trabajo:

1. Es muy importante no dar al entrevistado ningún tipo de expresión que revele aprobación o no aprobación ante una respuesta correcta o no correcta; es aconsejable expresar siempre interés más allá del grado de incorrección de su respuesta, pues ese interés es el que lleva a solicitar nuevas explicaciones.
2. Es conveniente antes de comenzar con las preguntas del cuestionario, dedicar tiempo para entablar una charla amigable, de esta manera se logra un ambiente más distendido y comunicativo que permite desarrollar la entrevista más fácilmente y con una toma de datos más fructífera. Así mismo es eficaz hacer al alumno partícipe de los objetivos de la investigación, pues estos objetivos pretenden desvelar su pensamiento, lo que hace que su autoestima aumente y se implique en la entrevista.
3. Las preguntas no deben orientar al sujeto en ninguna dirección. Salvo, en el caso de que ya no se pueda tomar más datos del alumno, se podrá realizar algún tipo de sugerencias para reconducir la entrevista y siempre que se

- esté seguro de que la información que se le brinda no va a ser útil para construir respuestas en tareas posteriores.
4. Con respecto a las preguntas del entrevistador, hay que distinguir entre preguntas neutras de las que aparecen en el cuestionario y que se denominan preguntas fijas o iniciales. Las preguntas neutras tales como: ¿estás seguro?, ¿cómo lo sabes?, no entiendo ¿me lo podrías explicar de nuevo? etc. son útiles en el sentido de que generalmente elevan el grado de elaboración de la respuesta y, por lo tanto, su significación.
 5. En nuestro caso y tal como lo manifiesta Benarroch (1998), además de tener en cuenta los aspectos anteriores, se pondrá énfasis en mostrar a los entrevistados las posibles incoherencias entre declaraciones verbales y declaraciones icónicas o declaraciones verbales contradictorias sobre una misma situación emitidas en el mismo momento o en distintos momentos de la entrevista, a fin de conocer su verdadero punto de vista, o al menos, el juicio que más le convence. Ello hace que también introduzcamos las preguntas variables, cuyo objetivo es la valoración de ideas y juicios emitidos por el sujeto. Estas preguntas variables, al igual que las preguntas neutras, no están representadas en el cuestionario, pues sólo tienen sentido cuando el alumno se contradice a sí mismo. Un ejemplo de este tipo de preguntas es cuando el alumno hace en dos momentos de la entrevista, dos modelos de bolas y varillas para el dióxido de carbono; en uno de ellos representa al carbono seguido de dos átomos de oxígeno y, en el otro modelo, el carbono está en el medio de los átomos de oxígeno, entonces se le pregunta: ¿este modelo es el mismo que aquél otro?, ¿hay diferencias entre ellos?, ¿cuáles son esas diferencias?, ¿que representan uno y otro? Este enfoque hace que nuestra entrevista sea similar a la utilizada por otros autores bajo la denominación de “teachback” (Gutiérrez y Ogborn, 1992, citado en Benarroch, 1998) en la que el entrevistador y el entrevistado llegan a un consenso sobre el pensamiento de éste.
 6. Con las preguntas neutras y variables, el entrevistador podrá inferir, según lo que responda el estudiante, si éste está potencialmente capacitado para aprender el contenido de enlace químico, para asimilar la información. Lo que intentamos determinar, además de los niveles explicativos, es la potencialidad cognitiva del alumno. O mejor dicho, los niveles explicativos

vienen determinados más por la capacidad cognitiva del alumno que por su desempeño cognitivo (lo que “muestra” en la entrevista). Cada nivel explicativo viene dado por lo que el alumno es capaz de conseguir y por lo que no es capaz.

4. SELECCIÓN DE LA MUESTRA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

En este apartado describiremos el proceso utilizado para la selección de los sujetos de la muestra así como justificaremos las variables del sujeto consideradas.

La técnica de la entrevista individual aconseja que el tamaño de la muestra no exceda los 40 sujetos, por considerarse que:

1. Dada la cantidad de información que aporta cada sujeto, un número mayor de los mismos hace casi imposible coordinar tantos datos a la hora de obtener conclusiones, aunque estos se reduzcan mediante un proceso de categorización. Así mismo este es el número de sujetos usado por otros autores en situaciones semejantes (Benarroch, 1998; Marín, 1994a; Trivelato, 1989; Kesidou y Duit, 1993, citados en Benarroch, 1998).
2. Este número de sujetos, adecuadamente seleccionados y distribuidos, podría dar una representación significativa y suficiente de las variables del sujeto consideradas.

Con estos presupuestos, el proceso de selección llevó a que la muestra estuviera constituida por 15 estudiantes de 1^o de secundaria (12 años), 15 estudiantes de 4^o de secundaria (15 años) y 10 estudiantes de 1^o de Universidad (18 años), que en los momentos de realización de las entrevistas correspondían aún a 7^o de EGB, 1^o de Polimodal y Universidad, aunque nos encontrábamos en pleno proceso de implementación de la secundaria. Para aclarar al lector, se adjunta una tabla en la que se pueden observar la equivalencia entre los sistemas educativos (antiguo y actual) en Argentina y el sistema educativo español (ver tabla 25).

ARGENTINA				EIDADES	ESPAÑA	
Plan de estudios en extinción		Plan actual				
EGB 1 (Primer nivel de la Escuela General Básica)	1º	Educación Primaria	1º	6	1º	Educación Primaria
	2º		2º	7	2º	
	3º		3º	8	3º	
EGB 2 (Segundo nivel de la Escuela General Básica)	4º		4º	9	4º	
	5º		5º	10	5º	
	6º		6º	11	6º	
EGB 3 (Tercer nivel de la Escuela General Básica)	7º	Educación Secundaria	1º	12	1º de ESO	ESO (Educación Secundaria Obligatoria)
	8º		2º	13	2º de ESO	
	9º		3º	14	3º de ESO	
Polimodal	1º		4º	15	4º de ESO	
	2º		5º	16	1º de Bachillerato	Bachillerato
	3º		6º	17	2º de Bachillerato	

Tabla 25. Correspondencia de niveles educativos entre Argentina y España (notar que en España hay un año más de educación obligatoria).

4.1 Selección de los centros educativos

Tal como lo expresa Benarroch (1998) es conveniente seleccionar la muestra de alumnos, objeto de entrevista individual, de manera que se consiga minimizar las múltiples interferencias que se dan en nuestra realidad escolar. Por tal motivo, una primera medida es que todos los alumnos de secundaria (tanto los de 12 como los de 15 años) pertenezcan al mismo centro educativo, y que éste sea un centro de características estandarizadas en el contexto general de la población estudiantil. Del mismo modo, se tratará de que todos los estudiantes de universidad, en la medida de lo posible, estén realizando los mismos estudios, y que éstos sean cursados en un centro universitario cuyas características socioeconómicas sean similares a las presentadas por los centros estudiantiles de secundaria seleccionados.

Teniendo en cuenta estos requisitos, los centros educativos finalmente seleccionados fueron: la Escuela Industrial “Domingo F. Sarmiento” y la Escuela de Comercio “Libertador Gral. San Martín”. Ambas instituciones pertenecen a la Universidad Nacional de San Juan, funcionan en el mismo edificio y los estudiantes que concurren a ellas son de nivel socio cultural medio. Los alumnos de la escuela Industrial cursan en el turno mañana y además cursan algunas materias en el turno tarde. Los alumnos de la escuela de Comercio, en cambio, cursan en el turno tarde. La selección de estos dos centros educativos estuvo determinada finalmente por la buena predisposición tanto de las autoridades como de los profesores que aceptaron y ayudaron a que la investigación se desarrollara en sus respectivas instituciones.

Por otra parte, en cuanto al centro universitario, en un primer momento se pensó en los alumnos de 1^o año del Profesorado de Química de la Universidad Nacional de San Juan. Sin embargo, debido al reducido número de alumnos matriculados, que además tienen diversas edades y niveles socio culturales, decidimos optar por los alumnos de 1^o año de Bioquímica y Farmacia de la Universidad Católica de Cuyo.

4.2 Proceso de selección y características de los sujetos objetos de investigación

La selección de los estudiantes ha estado determinada básicamente por la disponibilidad de los profesores. No obstante fueron seleccionados bajo las premisas de que fueran participativos en las clases y buenos comunicadores, presumiendo con ello que serían buenos informantes de sus conocimientos, características que fueron comprendidas por los profesores respectivos, ayudándonos a seleccionar al alumnado participante.

En la tabla 26 se muestran a los estudiantes seleccionados. En la columna 2 se diferencia cada sujeto entrevistado con 3 letras a modo de seudónimo para proteger su identidad. En las columnas 3, 4, 5 y 6 se indican edad, curso, sexo y rendimiento académico (R.A) de cada sujeto.

Nº	SEUDÓNIMO	EDAD	CURSO	SEXO	R.A
1	Agu	12,3	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	8,50
2	Cat	11,8	7 ^o EGB/1 ^o sec.	F	8
3	Fra	12,5	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	9,50
4	Gab	12,3	7 ^o EGB/1 ^o sec.	F	9,54
5	Gac	12,2	7 ^o EGB/1 ^o sec.	F	8
6	Gua	12,1	7 ^o EGB/1 ^o sec.	F	9
7	Jos	11,8	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	9,25
8	Jul	12,1	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	9,30
9	Mar	12,2	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	8
10	Mic	11,9	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	8,50
11	Ina	12,7	7 ^o EGB/1 ^o sec.	F	8,25
12	Cla	12,7	7 ^o EGB/1 ^o sec.	F	9,62
13	Rey	12,7	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	9,30
14	Gui	12,8	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	8
15	Cia	12,7	7 ^o EGB/1 ^o sec.	M	9
16	Ago	15,1	1 ^o Pol/4 ^o sec.	2	9
17	Oli	15	1 ^o Pol/4 ^o sec.	M	8
18	Her	15,3	1 ^o Pol/4 ^o sec.	M	7,60
19	Jer	15,4	1 ^o Pol/4 ^o sec.	M	7
20	Kar	15	1 ^o Pol/4 ^o sec.	F	8,50
21	Gim	15	1 ^o Pol/4 ^o sec.	F	8,50
22	Luc	15	1 ^o Pol/4 ^o sec.	F	8,50
23	Mav	15,6	1 ^o Pol/4 ^o sec.	F	7
24	Mat	15,6	1 ^o Pol/4 ^o sec.	M	7
25	Vic	15,1	1 ^o Pol/4 ^o sec.	F	8
26	Nan	15,5	1 ^o Pol/4 ^o sec.	F	8,70
27	Var	15,5	1 ^o Pol/4 ^o sec.	M	8,20
28	Pab	15,5	1 ^o Pol/4 ^o sec.	M	7
29	Nie	15,7	1 ^o Pol/4 ^o sec.	F	7,50
30	Dan	15,9	1 ^o Pol/4 ^o sec.	M	7,50
31	Ang	18,9	1 ^o Universidad	F	7
32	Bel	18,2	1 ^o Universidad	F	9
33	Fac	18,4	1 ^o Universidad	M	7
34	Rac	18,5	1 ^o Universidad	M	7,50
35	Gal	18,6	1 ^o Universidad	M	7
36	Mas	18,7	1 ^o Universidad	M	7,80
37	Mel	18	1 ^o Universidad	F	8,75
38	Flo	18,9	1 ^o Universidad	F	9,40
39	Pao	18,2	1 ^o Universidad	F	7
40	Ric	18	1 ^o Universidad	M	8,50

Tabla 26. Características de la Muestra.

5. SELECCIÓN Y DISEÑO DE LAS TAREAS QUE CONFORMAN EL CUESTIONARIO

5.1 Introducción: tarea significativa y tipos de preguntas realizadas

En este apartado expondremos las pautas que hemos tenido en cuenta para la elaboración del cuestionario como conjunto de tareas que pretenden ser significativas, administrado a la muestra de estudiantes mediante una dinámica adecuada.

En el apartado 3.1 hicimos referencia al concepto de tarea significativa, como aquella cuestión o pregunta realizada al sujeto en la que éste ofrece en sus respuestas elementos novedosos, ausencias o distorsiones sospechosas, respecto a los datos presentados en la cuestión. Con este criterio se trata de rechazar aquellas cuestiones que, por estar muy alejadas de la propia estructura cognitiva del alumno, le lleven a dar respuestas con elementos copiados de la misma o respuestas de compromiso o in situ. Por ejemplo si ante la pregunta: ¿por qué crees que los átomos de oxígeno se unen para formar la molécula de oxígeno?, ellos responden “para formar moléculas”, sus respuestas reproducen la pregunta, y, por tanto, en este caso, las respuestas dicen muy poco de los esquemas cognitivos del sujeto, pues no se ha conseguido activarlos, ya sea por ausencia de los mismos o bien por factores afectivos, tales como la falta de motivación, interés, etc.

No obstante, la exigencia planteada en este trabajo de utilizar el mismo conjunto de tareas para estudiantes de distintas edades y niveles cognitivos, hacen que éste criterio de significación sea alcanzado sólo después del tratamiento de los resultados obtenidos (Benarroch, 1998). En efecto, una misma cuestión puede ser significativa para un alumno de un determinado nivel cognitivo y no serlo para otro de un nivel diferente, y este hecho, además de ser de interés relevante para esta investigación, determina la elección de cuestiones de diversa índole durante el proceso de diseño de tareas. A tal efecto, distinguiremos entre **preguntas fijas**, con la suposición de significación; **preguntas neutras**, que tratan de elevar dicha significación al máximo de las posibilidades; y **preguntas variables**, que tratan de comprometer al estudiante en la elección de su verdadero punto de vista cuando se detectan incoherencias entre sus respuestas (Benarroch, 1998).

Seguidamente, nos abocaremos a las preguntas fijas del cuestionario y, al describir cada una de las tareas, incluiremos algunas de las preguntas variables.

5.2 Diseño de las preguntas fijas del cuestionario y descripción de las tareas

Para diseñar el cuestionario, se ha tenido en cuenta básicamente el resultado del análisis de los libros de texto más representativos de secundaria y de universidad que se realizó previamente para identificar los modelos didácticos sobre el enlace químico que se enseñan a los estudiantes. El cuestionario de la entrevista está diseñado como una secuencia didáctica (microenseñanza) para el proceso de aprendizaje del enlace químico (ver **anexo 1**). Lo que pretendemos con la entrevista es analizar cuáles son las posibilidades cognitivas de cada alumno, como así también extraer información sobre las progresiones en el aprendizaje relacionadas con el enlace químico, o, dicho de otra manera, las dimensiones conceptuales conque este tema debería ser enseñado a las distintas edades. Comenzaremos describiendo cada una de las tareas diseñadas, con sus preguntas fijas y sus principales preguntas variables. Acordamos con Benarroch (1998) que esta descripción permite, por un lado, comprender la dinámica de la entrevista y, por lo tanto permitir a otros investigadores la reproducción de la misma. Por otro lado, garantiza la aplicación homogénea para toda la muestra, controlando incluso las preguntas variables previstas en su desarrollo.

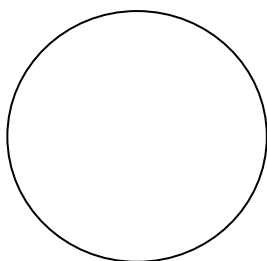
5.2.1 Tarea A: Modelo utilizado para representar el aire y el agua de modo espontáneo

A. Imagina que tuvieras un microscopio muy potente, ¿podrías representar el aire y el agua? Ayúdate de la información siguiente:

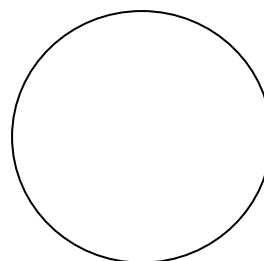
- AIRE ES UNA MEZCLA DE GASES:

- Nitrógeno, de fórmula N_2 (78%)
- Oxígeno, de fórmula O_2 (21%)

- AGUA ES UNA SUSTANCIA PURA FORMADA POR OXÍGENO E HIDRÓGENO, DE FÓRMULA MOLECULAR H_2O



AIRE



AGUA

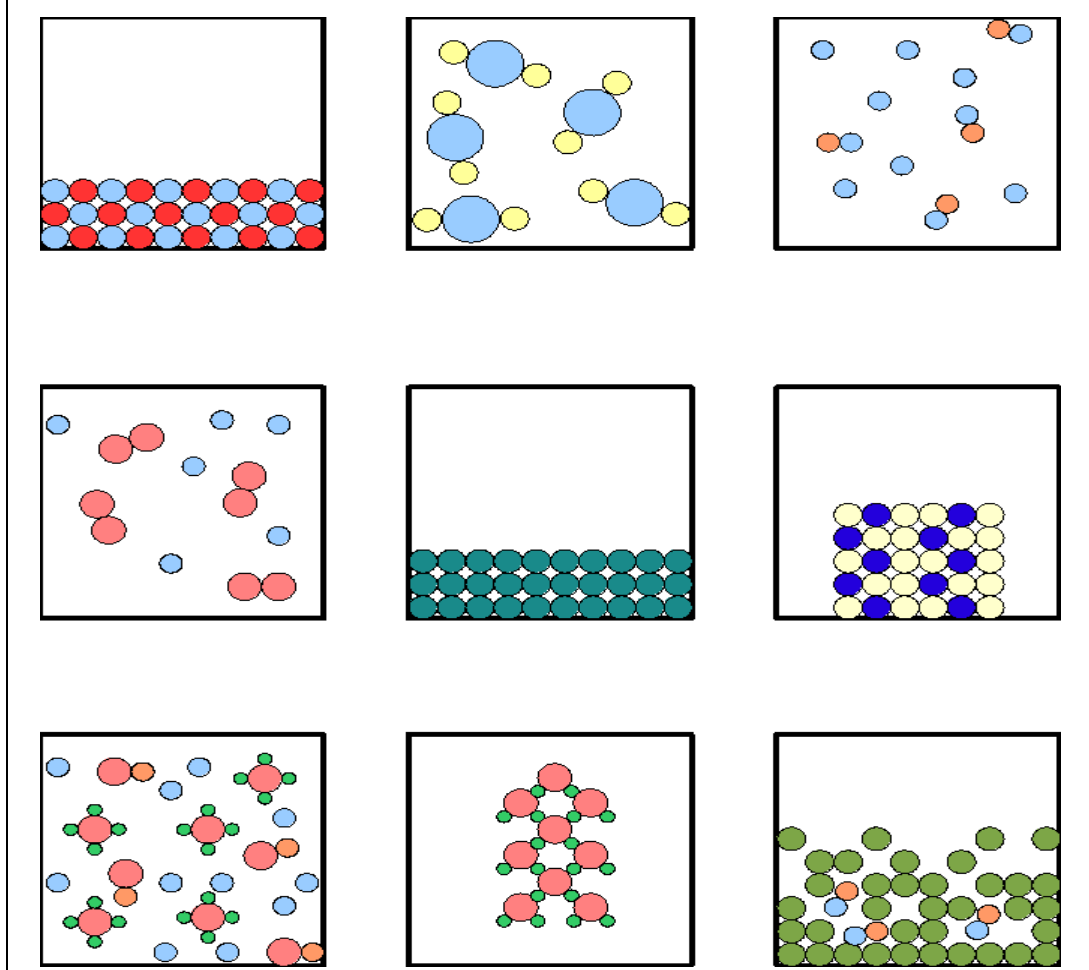
Esta tarea se realiza al principio y final de la entrevista y tiene por objetivo saber si los modelos que el alumno utiliza para representar el aire y el agua, sufren alguna modificación con la realización de la misma. Es una tarea, que, junto a la siguiente, tratan de conocer hasta qué punto el conocimiento sobre enlaces químicos sirve para solucionar algunas dificultades que hay en el estudio de la materia, por ejemplo: la diferencia entre mezclas y sustancias.

Como se puede ver, en primer lugar se le dice al estudiante que suponga que tiene un microscopio muy poderoso y que dibuje en los círculos correspondientes cómo vería el aire, sabiendo que se trata de una mezcla que contiene 78% de nitrógeno, de fórmula N_2 , y 21% de oxígeno, de fórmula O_2 . De la misma manera se procede para el agua, diciéndole que ésta es una sustancia pura formada por hidrógeno y oxígeno y que su fórmula molecular es H_2O . Cuando realizan sus dibujos, les hacemos preguntas neutras, del tipo: ¿me puedes explicar qué has dibujado? ¿qué significa esto? que tratan de ayudar a explicitar el conocimiento del alumno.

Otro objetivo de la tarea es ayudar al alumno a adentrarse en el mundo microscópico, en el que se va a desenvolver durante todo el resto de la entrevista, lo que ciertamente, en algunos casos lleva cierto tiempo, al poder “pillar” desprevenido al alumno cuando le pedimos que “dibuje” porciones inalcanzables de ambos sistemas materiales.

5.2.2 Tarea B: Mezclas y sustancias puras

B. Observa las siguientes sustancias encerradas en un recipiente. Debes decir si son sustancias puras o mezclas (cada bola de color es una clase de átomo)



Esta tarea, al igual que la anterior, se realiza al principio y al final de la entrevista y se pretende alcanzar una idea objetiva de los conocimientos previos sobre mezclas y sustancias y si éstos sufren alguna modificación con la realización de la entrevista.

Tal como decíamos para la actividad anterior, con esta tarea se trata de conocer hasta qué punto el conocimiento sobre enlaces químicos sirve para solucionar algunas dificultades que hay en el estudio de la materia, por ejemplo: la diferencia entre mezclas y sustancias.

En esta tarea, se le dice al estudiante que las representaciones simbolizan nueve sustancias encerradas en sus respectivos recipientes y, tiene que clasificarlas en sustancias puras y en mezclas.

Al igual que en la tarea A, una vez que el alumno clasificó las sustancias, se le plantean las siguientes preguntas neutras: ¿me puedes explicar cómo las has clasificado? ¿qué criterio has tenido en cuenta?

5.2.3 Tarea 1: Construcción de moléculas según el modelo de bolas y varillas a partir de la fórmula molecular

Las siguientes esferitas de distintos tamaños y colores representan a los átomos de hidrógeno, oxígeno, carbono, cloro, flúor, nitrógeno, entre otros. Completa el siguiente cuadro y luego construye las moléculas con las esferitas y los palillos.

Sustancia	Fórmula molecular	Formada por...	Foto del modelo
Hidrógeno	H ₂	2 átomos de hidrógeno.	
Agua	H ₂ O	2 átomos de hidrógeno y 1 átomo de oxígeno.	
Oxígeno	O ₂		
Monóxido de Carbono	CO		
Dióxido de Carbono	CO ₂		
Nitrógeno	N ₂		
Amoníaco	NH ₃		
Cloro	Cl ₂		
Cloruro de hidrógeno	HCl		
Óxido de cobre (II)	CuO		

En esta tarea se parte de bolsitas transparentes que contienen esferitas de telgopor de diferentes tamaños y colores, que simbolizan a los átomos de los distintos elementos químicos con los que se va a trabajar. Cada una de las bolsitas está debidamente rotulada con el nombre del elemento que representan las esferitas que están en su interior. Se concientia al alumno de que en realidad, esos átomos no existen nunca sueltos en la naturaleza, sino que se encuentran unidos formando moléculas. También se le muestra una caja con palillos que, en principio, se usan para simbolizar los enlaces entre los átomos cuando forman moléculas. Asimismo, se ejemplifica el proceso que han de hacer en el resto de la actividad, con el caso de la molécula de hidrógeno, que se construye delante del alumno, escogiendo dos átomos de hidrógeno, como indica la fórmula molecular y uniéndolos con un palillo.

A partir de aquí, se le pide al estudiante que haga lo mismo con el resto de las moléculas que ha de construir. Éstas han sido seleccionadas en orden de complejidad, a saber, H_2 , H_2O , O_2 , CO , CO_2 , N_2 , NH_3 , Cl_2 , HCl y CuO . Los modelos de moléculas construidas se irán introduciendo en cajas que tendrán puestos de modo muy visible los nombres de los elementos y/o compuestos químicos correspondientes, indicándoles al alumno que son las mínimas partes con que éstos intervienen en los procesos químicos.

Es importante que en esta fase no se corrija al alumno si construye el modelo de la molécula de modo no correcto, bien por el orden entre átomos, bien por el número de enlaces entre los mismos. Este hecho sólo representaría un distinto nivel de esquemas explicativos debido al diferente desarrollo de esquemas específicos ligados al enlace químico. El grado de ayuda prestado en esta fase se limita a asegurarnos que identifican correctamente la clase de átomos elegidos y el número de los mismos (así, en el caso del NH_3 , si el alumno toma un solo hidrógeno, se le puede preguntar ¿estás seguro de que únicamente hay un hidrógeno? Y animarle a analizar bien la fórmula molecular. Si a pesar de ello, sigue tomando un solo hidrógeno, se le dejará finalizar su actividad como él lo desee).

Se prevé que es una actividad relativamente fácil, pues puede ser realizada simplemente como un juego de construcción. El significado que el alumno pueda atribuir a las estructuras formadas se verá más adelante.

El objetivo de esta actividad es ayudar al estudiante a descodificar la fórmula molecular que representa a la molécula de sustancias químicas mediante la construcción de estructuras físicas basadas en los modelos de bolas y varillas. Por

tanto, se parte de la hipótesis de que estos modelos concretos podrían ayudar a comprender el significado de la fórmula molecular.

5.2.4 Tarea 2: Conceptualización de macromolécula

A veces, las mínimas partes de las sustancias no se llaman moléculas, sino que son macromoléculas, pues constan de muchísimos átomos unidos entre sí. Por ejemplo, el carbono en el diamante es una macromolécula de átomos de carbono en la que cada átomo está unido a cuatro átomos de carbono a su alrededor y forman una estructura tridimensional (se muestra la estructura construida). En cambio en el grafito, la estructura es distinta porque los átomos se unen formando capas planas, pero lo importante ahora es que también es una macromolécula (se muestra la estructura construida). Lo mismo les pasa a los metales sodio, magnesio, cobre, entre otros. En el cobre por ejemplo, la estructura es cúbica y hay un átomo de cobre en cada vértice y un átomo en cada cara del cubo (se muestra la estructura construida). De esta manera, cuando escribimos C, Cu, Na, etc. en una ecuación química, nos estamos refiriendo a la mínima parte distinguible de la macromolécula.

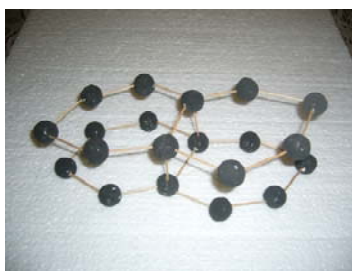


Foto 1. Modelo de grafito



Foto 2. Modelo de diamante



Foto 3. Modelo de cobre

Si en la tarea anterior, se pretende familiarizar al alumno con el concepto de molécula asociado a su fórmula molecular, en ésta se busca lo equivalente respecto al concepto de macromolécula y su fórmula empírica. En estas instancias, sólo se hace referencia, sin decir nada al estudiante, a macromoléculas asociadas a sustancias metálicas y covalentes macromoleculares. El único objetivo de ello es que se le atribuya un significado a las fórmulas empíricas donde se usa el símbolo del elemento para identificar a la sustancia química, tal es el caso de C, Cu, Na, etc. evitando que puedan adjudicar a estos símbolos el significado de molécula monoatómica.

En otras palabras, pretendemos que el alumno se dé cuenta de que en muchas ocasiones, en que la fórmula de una sustancia consta exclusivamente del símbolo de un elemento, es porque la mínima parte identificativa de esa sustancia está formada por una red de átomos de ese elemento.

La entrevistadora mostrará al alumno el modelo de la macromolécula del grafito, que se simboliza con una C y lo colocará en una caja donde se lea:

SUSTANCIA: CARBONO (GRAFITO) SÍMBOLO: C
--

También le mostrará el modelo de la macromolécula de diamante, y se colocará en una caja donde se lea:

SUSTANCIA: CARBONO (DIAMANTE) SÍMBOLO: C

Por último, le mostrará el modelo de la macromolécula de Cobre, para colocarla en una caja donde se lea:

SUSTANCIA: COBRE SÍMBOLO: CU

De este modo, estas cajas se situarán junto a las que se llenaron en la actividad anterior, aclarando que las estructuras construidas, moléculas o macromoléculas, son las partes que las caracterizan.

5.2.5 Tarea 3: Modelos de bolas y varillas y ecuaciones químicas

La síntesis de dióxido de carbono a partir de carbono grafito y de oxígeno molecular se expresa de la siguiente manera:

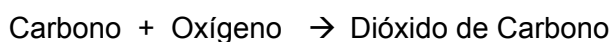


Y se lee: carbono con oxígeno forma dióxido de carbono. Lo que quiere decir que la sustancia carbono (formada de macromoléculas por ejemplo como la del grafito) se une a la sustancia oxígeno (formada por moléculas de oxígeno) para obtener la sustancia dióxido de carbono (esto es, moléculas de dióxido de carbono).

Toma una unidad de las siguientes sustancias (que formaste en la tarea 1) y trata de representar las reacciones químicas que se indican. ¿Te animas a escribirlas con fórmulas químicas?

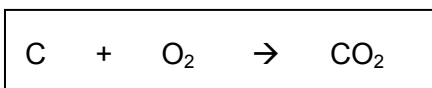
- a) Hidrógeno + Oxígeno \rightarrow Agua
- b) Cloro + Hidrógeno \rightarrow Cloruro de hidrógeno (HCl)
- c) Oxígeno + Cobre \rightarrow Óxido de cobre (II) (CuO)
- d) Nitrógeno + Hidrógeno \rightarrow Amoníaco (NH₃)

En esta actividad se trata de utilizar los modelos de bolas y varillas construidos en las dos tareas anteriores en una reacción química. Para ello, se parte de la expresión escrita:



Y se explica al estudiante que esta expresión simboliza la síntesis de dióxido de carbono (se le muestra una molécula construida de dióxido de carbono) a partir de carbono grafito (se le muestra la macromolécula de carbono grafito) y de oxígeno molecular (se le muestra, igualmente, la molécula de oxígeno). Se le anima a utilizar estos modelos de bolas y varillas para conseguir que los reactivos den los productos de la reacción. Cuando el alumno esté intentando hacerlo, se tratará de destacar que la única forma posible es romper las uniones de reactivos y formar nuevas uniones de los productos. Asimismo, se le ayudará a representar la anterior

reacción con fórmulas y símbolos, alcanzando la expresión de la ecuación química siguiente:



Realizada esta actividad, se procurará no ofrecer más ayuda al alumno durante el resto de la tarea, dejándole actuar frente a otras reacciones químicas, que implican en su mayoría reactivos y productos cuyas estructuras básicas han sido previamente construidas en el transcurso de las dos primeras tareas. Las sucesivas reacciones que se proponen son:

- a) Hidrógeno + Oxígeno \rightarrow Agua
- b) Cloro + Hidrógeno \rightarrow Cloruro de hidrógeno (HCl)
- c) Oxígeno + Cobre \rightarrow Óxido de cobre (II) (CuO)
- d) Nitrógeno + Hidrógeno \rightarrow Amoníaco (NH₃)

Esta tarea pretende que el alumno visualice de modo concreto qué sucede entre las moléculas de los reactivos cuando se produce una reacción química y especialmente, cómo se representa ese fenómeno con fórmulas químicas.

Aun cuando sea el objetivo explícito de la tarea, lo importante de la misma es realmente evaluar hasta qué punto los alumnos han alcanzado adjudicar significado físico a las estructuras moleculares y macromoleculares previamente construidas. Este objetivo real de la tarea se puede alcanzar de varias formas:

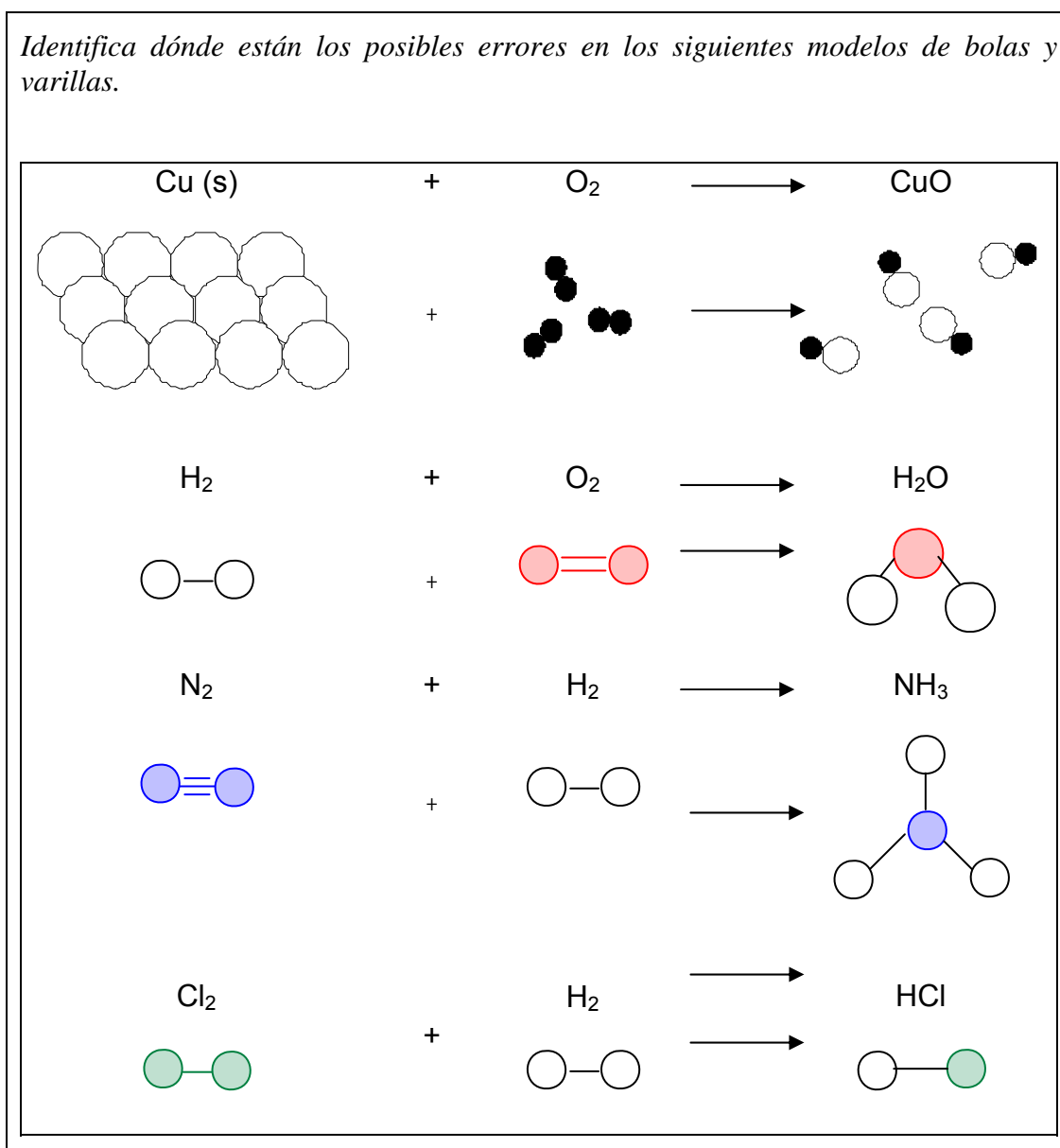
- a) Atendiendo a si el estudiante elige partir de átomos y/o de moléculas de cada uno de los reactivos que intervienen en la reacción
- b) Analizando si las fórmulas utilizadas en las ecuaciones químicas propuestas respetan en todos los casos las estructuras moleculares y macromoleculares previamente identificadas para cada uno de las sustancias que intervienen en la reacción.
- c) Por último, analizando si se vale de los modelos de bolas y varillas previamente construidos o si por el contrario, prefiere partir de las fórmulas moleculares de las sustancias que intervienen en la reacción, ajustar las ecuaciones químicas, y sólo

posteriormente, reconstruir el proceso mediante los modelos concretos previamente contruidos.

Así pues, si es cierto que esta actividad es reveladora del significado atribuido por los estudiantes a las construcciones moleculares y macromoleculares previamente realizadas, es plausible suponer que las respuestas derivadas de la misma serán más significativas que las respuestas construidas a partir de las dos tareas anteriores.

5.2.6 Tarea 4: Ajuste de ecuaciones químicas a partir de modelos representacionales de bolas y varillas

Identifica dónde están los posibles errores en los siguientes modelos de bolas y varillas.



En esta actividad se muestran al estudiante algunas ecuaciones químicas, en las que intervienen y se forman sustancias con estructuras moleculares o macromoleculares previamente conocidas en el transcurso de la entrevista, y se pide al alumno que identifique los errores que encuentre (producidos por la falta de ajuste de las mismas o por un cambio inexplicable en el tamaño de los átomos).

Esta actividad es una evaluación de la tarea 3 y aunque aparentemente pueda servir para fortalecer la idea de que una reacción química implica destrucción de las moléculas de los reactivos, formación de las moléculas de los productos y conservación de átomos, en realidad está diseñada para evaluar el grado y extensión en que el alumno relaciona el lenguaje formal con el lenguaje gráfico utilizado para representar los modelos de bolas y varillas.

5.2.7 Tarea 5: Introducción al modelo atómico electrónico

PARTE I) Hasta ahora hemos visto que los átomos se unen para formar moléculas o macromoléculas de las distintas sustancias. Pero... ¿cómo son esas uniones y por qué se presentan?

- a) ¿Por qué crees que los átomos de oxígeno se unen para formar la molécula de oxígeno?*
- b) ¿Cómo crees que tiene lugar esa unión?*
- c) ¿Es el mismo tipo de unión entre dos átomos de oxígeno que el que se produce entre un átomo de cloro (Cl) y uno de sodio (Na)?*

Con esta actividad se introduce al alumno en la interpretación de los enlaces químicos mediante la estructura electrónica de los átomos.

Consta de dos partes. En la primera, se trata de indagar en los conocimientos previos que puedan tener antes de comenzar, para lo que se hacen algunas preguntas relacionadas, ¿por qué crees que los átomos de oxígeno se unen para formar la molécula de oxígeno?, ¿cómo crees que tiene lugar esa unión?, ¿es el mismo tipo de unión que el que se produce entre un átomo de cloro y uno de sodio?

En la segunda parte, y a fin de iniciar a los alumnos en el estudio del modelo atómico electrónico, se les brinda la siguiente información:

Parte II) Los Químicos dicen que:

- a) El átomo está formado por protones (cargas eléctricas positivas), neutrones (cargas eléctricas neutras) y electrones (cargas eléctricas negativas).*
- b) Los protones y neutrones forman el núcleo del átomo*
- c) Los electrones, se encuentran alrededor del núcleo con diferente energía y de acuerdo a ello se disponen en diferentes órbitas o niveles de energía ($n=1$, $n=2$, $n=3$, etc.) El número máximo de electrones por cada nivel de energía viene dado por la expresión $2n^2$. (2, 8, 18,... respectivamente en el nivel 1, 2, 3,...)*

Seguidamente se les solicita que completen un cuadro donde tienen que interpretar y relacionar diferentes datos (símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo) para los elementos de los tres primeros periodos de la tabla periódica. Para realizar esta actividad, el estudiante puede revisar la tabla periódica para consultar algún dato, por ejemplo, el número de electrones de algún elemento. Para todos los alumnos entrevistados, exceptuando los de la universidad, la entrevistadora previamente completará el cuadro para uno o dos elementos a modo de ejemplo.

Mira la tabla periódica y, teniendo en cuenta la información anterior, completa la siguiente tabla:

Elemento	Símbolo	Nº de electrones	Distribución Electrónica			Notación de Lewis	Representación del átomo
			1º nivel	2º nivel	3º nivel		
Hidrógeno							
Helio							
Litio							
Berilio							
Boro							
Carbono							
Nitrógeno							
Oxígeno							
Flúor							
Neón							
Sodio							
Magnesio							
Aluminio							
Silicio							
Fósforo							
Azufre							
Cloro							
Argón							

5.2.8 Tarea 6: Formación de iones

Completa

- *Si 1 átomo de oxígeno gana 2 electrones, su configuración electrónica es la del y se transforma en un*
- *Si 1 átomo de cloro gana 1 electrón, su configuración electrónica es la del y se transforma en un*
- *Si 1 átomo de potasio pierde 1 electrón, su configuración electrónica es la del y se transforma en un*
- *Si un átomo de magnesio pierde 2 electrones, su configuración electrónica es la del y se transforma en un*

A partir del cuadro de la tarea anterior, se espera que el estudiante deduzca la configuración electrónica de diferentes elementos cuando ganan o pierden electrones. A los estudiantes que muestran extrañeza, por no haber estudiado nada sobre el tema, en el curso de su enseñanza, la entrevistadora podrá explicarles previamente qué sucede con el átomo de litio cuando pierde un electrón y en qué se transforma el átomo de bromo cuando gana un electrón. Así, podremos ver en qué medida el estudiante es capaz de continuar y resolver las restantes cuestiones sobre formación de iones.

5.2.9 Tarea 7: Causa del enlace químico, explicación del proceso del enlace e indagación de los tipos de enlace químico

Analiza en la tabla del apartado 5 II las distribuciones electrónicas y representaciones de los átomos de los gases nobles. ¿Tienen alguna característica en común? Teniendo en cuenta tu respuesta y lo que completaste en la tarea 6 ¿Por qué crees ahora que los átomos se unen?

Esta actividad tiene el carácter de evaluación de las tareas 5 y 6 anteriores y se pretende que el estudiante establezca hipótesis acerca de porqué se unen los átomos para formar moléculas, teniendo en cuenta las distribuciones electrónicas y

representaciones de los átomos de los gases nobles realizados en la tarea 5 y lo efectuado en la tarea 6.

A tal fin, se diseñan las siguientes preguntas que el estudiante tiene que responder: ¿por qué crees que los átomos de oxígeno se unen para formar la molécula de oxígeno?, ¿cómo crees que tiene lugar la unión entre los dos átomos de oxígeno? y ¿es el mismo tipo de unión, el que se produce entre dos átomos de oxígeno que el que se produce entre un átomo de cloro y otro de sodio?

5.2.10 Tarea 8: Formación de enlaces químicos

Previo al inicio de esta tarea, se le brinda al estudiante la siguiente información en una ficha:

- A. Debes distinguir los siguientes elementos de la TP:
- Gases nobles: Son los más estables, no se combinan con otros elementos, por eso también se llaman gases inertes o gases raros.
 - Los elementos de la derecha: Son los que tienen más tendencia a ganar electrones para alcanzar la configuración electrónica del gas noble que les sigue. Los llamaremos no metales.
 - Los elementos de la izquierda: Son los que tienen más tendencia a perder electrones para alcanzar la configuración electrónica del gas noble que les precede. Los llamaremos metales.
- B. Y los siguientes tipos de enlace entre átomos:
- Si un átomo de un elemento de la derecha de la tabla periódica es decir un no metal se une con un átomo de un elemento de la izquierda, es decir con un metal, el tipo de enlace que se produce es iónico.
 - Si un átomo de un elemento de la derecha se une con otro átomo de un elemento de la derecha o con otro átomo del mismo elemento, el tipo de enlace que se produce es covalente.
 - Si un átomo de un elemento de la izquierda o del centro se une con otro átomo de un elemento de la izquierda o con otro átomo del mismo elemento, el tipo de enlace que se produce es el metálico (comparten multielectrones).

Así mismo, a los estudiantes con menos conocimientos, la entrevistadora les explica concretamente el enlace iónico y covalente con un par de ejemplos: el óxido de litio y el cloruro de hidrógeno.

Con esta tarea, se pretende que los estudiantes expliquen el enlace químico que se origina en los diferentes casos y analicen las relaciones que proponen entre los diferentes modelos representacionales: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas.

Seguidamente, se les solicita a los alumnos que completen el siguiente cuadro:

Sustancia	Fórmula Molecular	Tipo de enlace	Notación de Lewis	Representación del enlace	Foto del modelo
Fluoruro de hidrógeno	HF				
Óxido de sodio	Na ₂ O				
Cloro	Cl ₂				
Oxígeno	O ₂				
Nitrógeno	N ₂				
Magnesio	Mg				
Agua	H ₂ O				
Sodio	Na				
Cloruro de sodio	NaCl				
Dióxido de carbono	CO ₂				
Amoníaco	NH ₃				
Cloruro de calcio	CaCl ₂				

6. FASE DE REALIZACIÓN DE LAS ENTREVISTAS INDIVIDUALES

A fin de tener una idea de cómo se desarrollaron las entrevistas, procederemos a describir las condiciones ambientales, temporales y técnicas bajo las cuales se realizaron las entrevistas individuales.

6.1 Condiciones físicas en la realización de las entrevistas individuales

A cada alumno que se le hacía la entrevista, se le explicaba brevemente el objetivo de la investigación y se le solicitaba la aprobación para grabarlo. En ningún caso hubo negativa al respecto.

Todas las entrevistas fueron realizadas por la autora de este trabajo.

El desarrollo de las entrevistas siempre se ha llevado a cabo con el mismo material experimental e instrumentos de registro:

- Modelos de bolas y varillas para el cobre, el grafito y el diamante.
- Bolsas transparentes y rotuladas que contenían respectivamente, esferitas de colores de tamaño proporcional, que representaban átomos de los elementos: hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno, cloro, flúor, sodio, magnesio y cobre.
- Palillos para unir las esferitas.
- Grabador para el registro de las entrevistas
- Máquina de fotos para recoger los diferentes modelos moleculares que realizaba cada estudiante entrevistado.
- Cuestionario específico para la recogida de las tareas realizadas por el entrevistado.
- Cuaderno para tomar notas de aspectos importantes de la entrevista.

Las entrevistas fueron desarrolladas en siete ambientes diferentes, a lo largo del curso 2007 y 2008:

1. Para los alumnos de 1^o y 4^o de secundaria (ex 7^o de EGB y 1^o polimodal, respectivamente), se utilizaron: las salas de profesores (lugares donde los profesores están en las horas libres, de tutorías y en los recreos) de las escuelas de comercio “Lib. Gral. San Martín e industrial “Domingo F. Sarmiento”; biblioteca de la escuela de comercio “Lib. Gral. San Martín; sala de audio y video de la escuela industrial “Domingo F. Sarmiento”, laboratorio de química de la misma institución y, eventualmente algún aula de este establecimiento. Esta diversificación en los ambientes fue debido a que a pesar de haber solicitado por nota y con mucha antelación que se nos destinara un lugar fijo, preferentemente algún laboratorio o la sala de audio y video, en muchas ocasiones estas instalaciones estaban ocupadas con actividades escolares, con lo cual teníamos que realizar las entrevistas en la biblioteca o sala de profesores.
2. Para los alumnos de universidad, se utilizó la sala de profesores de la Universidad Católica de Cuyo.

6.2 Secuencia utilizada en la realización de la entrevista

En los alumnos de 12 años, la entrevista se desarrolló en dos etapas, con un intervalo de uno a dos días. Aunque tuvo una duración muy variada, fue frecuente alcanzar las tres horas y media para finalizarla. En los alumnos de 15 y de 18 años, la entrevista tuvo una duración de dos horas aproximadamente. En todos los casos, la duración de la entrevista quedaba a merced de las preguntas neutras y variables que se utilizaban para comprender la respuesta. Al finalizar la entrevista, se le obsequió a cada alumno un pequeño regalo a modo de agradecimiento.

6.3 Transcripción de las entrevistas

En primer lugar, las entrevistas fueron transcritas literalmente, y en segundo lugar se realizó la segunda transcripción donde se resaltan los aspectos más relevantes de cada una de las tareas. De este modo, los datos quedaban más reducidos y se eliminaban ciertos aspectos afectivos y de personalidad, que influyen en las respuestas de los alumnos y que podrían llevarnos a deducciones erróneas (Benarroch, 1998). Así, por ejemplo comprobamos que alumnos que tardan en

responder podrían hacerlo por razones afectivas (son vergonzosos), por razones de personalidad (son reflexivos, impulsivos) e incluso por razones cognitivas (controlan más variables que otros).

6.4 Algunos ejemplos representativos de entrevistas transcritas

En el **anexo 2** se puede ver la transcripción literal de la entrevista correspondiente al estudiante Gui de 12 años. En el **anexo 3**, figura la segunda transcripción del mismo estudiante entrevistado.

7. CATEGORIZACIÓN DE LOS DATOS DE LA ENTREVISTA

Las respuestas (datos cualitativos) obtenidas de los alumnos, para cada una de las tareas, se agruparon por semejanzas y diferencias y se jerarquizaron en categorías empíricas, aptas de ser tratadas estadísticamente, en una fase posterior.

Entre las ventajas de realizar esta categorización, Benarroch (1998) menciona:

- Operativizar las respuestas de los sujetos, sintetizando y ordenando el caos aparente que parece desprenderse de las entrevistas individuales.
- Facilitar, por complementación y contraste de categorías, la construcción de los esquemas explicativos usados por los alumnos al enfrentarse a tareas concernientes a enlace químico.

A continuación describiremos cómo hemos procedido a la categorización de las respuestas de los estudiantes.

7.1 Categorización de las respuestas

Las respuestas de los sujetos a cada ítem o grupo de ítem con propósito común, fueron categorizadas (agrupadas) usando criterios inductivos y deductivos. Los criterios inductivos sirvieron para agrupar las respuestas por analogías y diferencias entre sí, pero sin realizar ningún tipo de jerarquización entre ellas. Entre los criterios deductivos destacamos la capacidad de transformación de los datos perceptivos y verbales. Así, estos últimos nos sirvieron para jerarquizar los grupos de respuestas.

El resultado final del primer proceso de categorización fueron las llamadas **categorías empíricas o módulos categoriales**.

Esta categorización dio lugar a 16 categorías empíricas o módulos categoriales (ver **anexo 4**) cada uno de los cuales fue identificado con una **variable**. Por ejemplo, la tarea o **ítem 1** del cuestionario da lugar al **módulo 5** denominado “**construcción de moléculas según modelo de bolas y varillas a partir de la fórmula molecular**” y es identificado con la **variable Molecu** (ver anexo 4).

Cada estudiante adquiere en cada variable, definida en las categorías empíricas, una puntuación coincidente con la posición ocupada en la jerarquía de categorías definidas para dicha variable. Así, siguiendo con el ejemplo de la variable Molecu, en esta se plantean las siguientes 5 categorías ante las cuales Fra se encuentra en la posición 1, mientras que Oli se encuentra en la 3.

- 1. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA EN UN ORDEN ARBITRARIO.*
- 2. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR CONSIGUIENDO LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LA MOLÉCULA CON ALGUNA / AS EXCEPCIÓN / ES.*
- 3. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR CONSIGUIENDO LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LA MOLÉCULA EN TODOS LOS CASOS.*
- 4. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR EXPLICITANDO, ADEMÁS DE LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LAS MOLÉCULAS, EL NÚMERO DE ENLACES CORRECTO CON ALGUNA / AS EXCEPCIÓN / ES.*
- 5. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR EXPLICITANDO, ADEMÁS DE LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LAS MOLÉCULAS, EL NÚMERO DE ENLACES CORRECTO EN TODOS LOS CASOS.*

Si cada módulo categorial contemplado en el anexo 4 da lugar a una variable, en total se obtienen de los mismos 16 variables. Estas 16 variables surgen de las Tareas A y la 1 a 8 del cuestionario. Además de ellas, contamos con 6 variables más para cada estudiante, que son: edad, curso, sexo, rendimiento académico, número de aciertos en la Tarea B antes de la entrevista y número de aciertos en la Tarea B después de la entrevista. Esto supone un total de 22 variables.

Trabajando de esta manera para todas las variables, obtenemos una matriz de datos formada por 40 estudiantes y 23 variables. Dicha matriz fue sometida a un análisis estadístico utilizando para ello, el paquete estadístico SPSS.

En este proceso de agrupación y jerarquización, cabe destacar que dado que consideramos el significado de las respuestas buenos representantes de la riqueza cognitiva del estudiante, esto motivó a que se unieran dos ítems de contenido

común para delimitar el significado atribuido a una determinada respuesta y no que se hiciera una clasificación por cada ítem planteado. Concretamente, nos referimos al módulo categorial 9, identificado con la variable Macrom, que incluye los ítems de las Tareas 3 y 4. En ambas actividades, se aborda, en parte, el mismo contenido, el cual está referido a la interpretación de una reacción química en la que intervienen moléculas y macromoléculas.

Para cada estudiante es posible obtener una valoración cuantitativa de su rendimiento global en la entrevista, si se le asocia el valor numérico del orden jerárquico de la categoría a la que pertenece en cada uno de los módulos categoriales, y se van acumulando dichos valores. El valor así obtenido, que se denominará **Resultados Acumulados de la Entrevista (RAE)**, podría ser un buen indicador del rendimiento del sujeto en la misma (Benarroch, 1998).

Sin embargo, el indicador RAE así obtenido, no tendría porqué ser el mejor indicador del rendimiento del sujeto, pues en él no se están ponderando con el mismo grado las distintas variables, dado que el número de categorías asignadas a cada variable es distinto, por ejemplo las categorías de la variable Molecu son 5, mientras que en la variable Agua_A son 6. Tampoco se está considerando el mayor o menor grado de dificultad de cada ítem. Esto obliga a considerar este valor como una sugerencia adicional dependiente de los criterios cualitativos (Benarroch, 1998).

8. POSICIONES Y PUNTUACIONES DEFINITIVAS DE LOS RESULTADOS DE LA ENTREVISTA

Tal como dijimos en el apartado anterior, la categorización de las respuestas dadas por los alumnos a cada ítem o grupo de ítem aporta unas posiciones numéricas para cada estudiante, adecuadas para ser analizadas estadísticamente. Ello supone un total de 16 valores asignados a cada sujeto, correspondientes a las posiciones que éste ocupa en los 16 módulos categoriales del anexo 4. Además, la acumulación de las posiciones numéricas adjudicadas a los alumnos en los módulos categoriales, proporciona la puntuación valorativa del rendimiento del sujeto en la entrevista o RAE.

ALUMNO	EDAD	CURSO	SEXO	R_A	ACIE_A	ACIE_D	AIRE_A	AIRE_B	AGUA_A	AGUA_B	MOLECU	REAC_1	REAC_2	REAC_3	MACRoM	ENLA_1	ENLA_2	ENLA_3	MODELE	IONES	CAUSA	MODE_2	RAE
Cat	11,8	1	2	8,0	7	6	2	2	2	2	1	1	3	4	2	3	2	4	2	3	2	2	37,00
Jul	12,1	1	1	9,3	5	5	1	1	1	1	1	1	3	4	3	3	5	4	2	1	1	1	33,00
Mar	12,2	1	1	8,0	8	8	3	3	3	4	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	28,00
Jos	11,8	1	1	9,3	4	8	3	3	2	2	1	1	1	4	3	3	2	4	2	4	3	1	39,00
Mic	11,9	1	1	8,5	4	7	3	3	5	5	1	2	4	2	3	5	2	2	4	2	2	2	47,00
Gua	12,1	1	2	9,0	6	8	3	4	3	4	1	2	5	4	3	2	3	2	2	1	1	1	41,00
Gac	12,2	1	2	8,0	5	5	3	5	2	6	1	2	2	2	3	2	2	3	3	4	4	2	46,00
Agu	12,3	1	1	8,5	6	7	2	2	5	5	1	1	3	2	2	5	2	3	3	3	6	2	47,00
Fra	12,5	1	1	9,5	6	8	3	3	3	4	1	2	1	3	3	3	2	4	3	4	5	2	46,00
Gui	12,8	1	1	8,0	1	4	2	3	2	3	1	2	5	4	3	4	2	4	4	2	4	1	46,00
Gab	12,3	1	2	9,5	5	4	3	3	5	5	1	2	4	4	4	4	2	4	4	3	5	3	56,00
Ina	12,7	1	2	8,3	8	8	3	5	3	5	1	2	5	4	4	3	2	4	5	4	4	3	57,00
Cla	12,7	1	2	9,6	5	1	2	5	2	5	1	2	3	3	3	2	2	4	4	4	4	3	49,00
Rey	12,7	1	1	9,3	9	9	2	5	3	5	2	1	3	4	3	4	3	4	5	4	5	3	56,00
Cia	12,7	1	1	9,0	5	3	3	3	4	4	1	2	3	4	3	4	2	4	4	5	4	2	52,00
Pab	15,5	2	1	7,0	5	7	3	3	5	5	2	1	2	3	3	2	2	4	4	2	4	2	47,00
Gim	15,0	2	2	8,5	.	7	1	1	6	6	2	1	5	4	1	4	2	5	5	5	5	4	57,00
Luc	15,0	2	2	8,5	.	8	3	3	4	4	4	1	4	2	2	5	5	5	3	3	5	2	55,00
Jer	15,4	2	1	7,0	.	5	5	5	5	5	1	2	3	1	2	5	2	4	2	4	6	3	55,00
Mav	15,6	2	2	7,0	.	9	3	3	3	3	2	1	4	2	2	4	5	5	2	2	6	2	49,00
Dan	15,9	2	1	7,5	1	1	3	3	3	3	3	3	5	4	4	3	5	3	3	3	5	1	54,00
Oli	15,0	2	1	8,0	.	5	5	5	6	6	3	1	3	4	2	3	2	4	4	5	5	3	61,00
Kar	15,0	2	2	8,5	.	8	6	6	6	6	4	1	4	1	2	5	5	5	3	2	5	2	63,00
Ago	15,1	2	2	9,0	.	8	5	5	5	5	2	1	4	3	3	5	5	4	3	4	5	4	63,00
Vic	15,1	2	2	8,0	.	7	5	5	6	6	2	1	4	1	1	6	5	5	5	5	5	2	64,00
Her	15,3	2	1	7,6	.	2	5	5	6	6	2	2	4	3	2	4	2	4	5	5	6	3	64,00
Nan	15,5	2	2	8,7	3	6	3	5	6	6	2	2	5	3	4	4	2	4	5	5	5	5	66,00
Var	15,5	2	1	8,2	9	9	3	5	6	6	2	1	2	3	4	6	5	3	5	3	5	2	61,00
Mat	15,6	2	1	7,0	.	5	4	4	4	4	4	2	5	4	4	6	5	5	4	2	5	5	67,00
Nie	15,7	2	2	7,5	1	4	4	5	6	6	2	3	4	4	4	6	5	4	4	5	5	5	72,00
Mel	18,0	3	2	8,8	8	8	4	4	4	4	2	3	5	4	3	5	6	4	5	2	6	3	64,00
Ric	18,0	3	1	8,5	5	5	3	3	3	3	2	2	5	4	4	6	5	5	5	5	6	4	65,00
Pao	18,2	3	2	7,0	5	7	5	4	5	4	1	3	3	3	4	5	4	5	5	5	5	3	64,00
Mas	18,7	3	1	7,8	6	8	3	6	3	6	2	4	5	2	2	6	5	5	4	4	6	3	66,00
Ang	18,9	3	2	7,0	5	8	5	3	3	3	2	3	3	3	4	5	5	5	5	5	5	4	63,00
Bel	18,2	3	2	9,0	5	8	6	6	4	4	5	3	4	3	4	2	6	5	5	4	6	2	69,00
Fac	18,4	3	1	7,0	8	8	4	6	4	4	5	3	5	4	4	6	5	5	5	5	6	5	76,00
Rac	18,5	3	1	7,5	8	8	4	4	4	4	2	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	69,00
Gal	18,6	3	1	7,0	7	7	3	6	3	4	5	3	4	3	2	6	5	5	5	5	5	5	69,00
Flo	18,9	3	2	9,4	5	8	4	4	3	3	5	4	5	4	4	6	5	5	5	5	6	5	73,00

A efectos del tratamiento estadístico de los datos obtenidos, en la tabla 27 se presentan en las filas, las posiciones y puntuaciones de cada sujeto, y, en las columnas, todas las variables; así mismo, en la última columna se presenta el RAE. Estos datos serán utilizados en el análisis estadístico trabajado en el capítulo siguiente.

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE DATOS

1. Introducción

Tal como expresáramos en el apartado 7.1 del capítulo 4, las respuestas de los estudiantes a cada tarea, fueron agrupadas por analogías y diferencias entre sí, y los grupos obtenidos fueron jerarquizados entre ellos. De este modo, como resultado, se obtuvieron las 16 **categorías empíricas o módulos categoriales que se describen en el anexo 4, cada uno de los cuales han sido identificados con una variable.**

Estas variables son de naturaleza categorial, pues su construcción depende del número de grupos de categorías que se han establecido, en las mismas, basándonos generalmente en criterios de analogías y diferencias. Por lo tanto, la distancia entre categorías no obedece a ningún tipo de métrica, como pudiera ser la distancia euclídeana. Por ejemplo, mientras que en el módulo categorial que determina la variable MOLECU se han establecido 5 grupos de categorías, en otro módulo, como el que define a la variable REAC_3, se han establecido 4 categorías, por lo que no se pueden equiparar los sujetos posicionados en el grupo categórico 3 de MOLECU con los del grupo categórico 3 de REAC_3.

Son variables categóricas (o cualitativas) todas las consideradas en nuestro análisis, con excepción de las variables EDAD, RA (Rendimiento académico), RAE (Resultados Acumulados en la Entrevista), ACIE_A (número de aciertos de la Tarea

B antes de la entrevista) y ACIE_D (número de aciertos de la Tarea B después de la entrevista). La variable SEXO también es una variable de estas características, pero con dos grupos categoriales: 1 (alumno) y 2 (alumna). No obstante, debemos destacar que, a diferencia de la variable SEXO, en las definidas por los módulos categoriales, existe una relación de orden entre el número representativo y la categoría representada de forma que, por ejemplo, la categoría 2 de una variable representa teóricamente una categoría de rango inferior que la asociada al número 5. Por lo tanto, las variables que identifican a los módulos categoriales, son **variables categóricas ordinales**, y un análisis estadístico de las mismas permitirá responder a las siguientes cuestiones (Benarroch, 1998):

- ¿Es eficaz el sistema jerarquizado de categorías propuesto para cada uno de los módulos categoriales, o por el contrario, hay inversión en determinados grupos? Es decir, por ejemplo ¿las respuestas de la categoría 3 de una variable, son realmente inferiores a las agrupadas en la categoría 4 de esta misma variable?
- ¿Cómo se relacionan las categorías de los distintos módulos?
- ¿Es probable agrupar a los sujetos por sus comportamientos semejantes ante las variables mejor construidas?
- ¿Es posible aproximarnos a una apreciación o valoración para cada sujeto, a pesar de que las variables no están sometidas a una métrica?
- ¿Tiene significado lícito la variable RAE? ¿Discrimina a los sujetos según un comportamiento semejante en sus respuestas?

En este capítulo trataremos de dar respuestas a estas preguntas, para lo cual el mismo se ha organizado en tres grandes apartados: el primero lo constituye el análisis de variables; el segundo, la intención de agrupar los sujetos por sus comportamientos semejantes y el tercero, y último, el análisis de correspondencias entre categorías. Cada uno de ellos tiene en sus apartados finales las conclusiones más relevantes de los mismos. Previamente describiremos la entrada de datos en el paquete estadístico utilizado.

2. LA ENTRADA DE DATOS EN EL PAQUETE ESTADÍSTICO SPSS 15.0

Para el tratamiento estadístico de los datos se ha usado el paquete SPSS 15.0, que pone la Universidad de Granada a disposición de sus alumnos, por ser uno de los programas más potentes y, a la vez, disponer de un gran número de módulos para el tratamiento multivariable.

La matriz de datos con la que se ha trabajado se muestra en la tabla 27 del capítulo anterior.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VARIABLES

Algunos de los aspectos que merecen respuesta en un análisis estadístico de variables son:

- ¿Hay relación entre las distintas variables y, si así fuera el caso, cómo es esa relación?
- ¿Cuáles son las variables que mejor sintetizan la información latente en la matriz de datos?
- ¿Cuáles son las variables más representativas de los esquemas explicativos de los alumnos sobre el enlace químico?

Para responder, se han utilizado dos análisis complementarios: el de correspondencias entre variables y el análisis factorial.

Los objetivos de estas técnicas son diferentes, pues mientras que la primera permite conocer la relación entre las distintas variables, la segunda tiene su sentido cuando existe esta relación, postulando la existencia de factores subyacentes o construcciones factoriales que explican los valores que aparecen en la matriz de correlaciones entre las variables. Por tanto, son complementarias pues un análisis factorial parte de la matriz de correlaciones para la extracción factorial.

3.1 Análisis de la matriz de correlaciones

La matriz de correlaciones bivariadas que se muestra en la Tabla 28, se ha obtenido seleccionando el coeficiente Rho de Spearman, dado que las variables

consideradas son categoriales ordinales. Se podría decir que es la versión no paramétrica del coeficiente de correlación de Pearson basado en los rangos de las categorías más que en los mismos valores de las mismas.

En la tabla mencionada, se han señalado las variables que correlacionan al nivel de 95% de confianza y las que lo hacen al nivel del 99%. Un análisis detallado de la misma indica que:

- La EDAD correlaciona bastante bien con las variables: CURSO, ACIE_A, AIRE_A, MOLECU, REAC_1, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, CAUSA, MODE_2 Y RAE (se consideraron los valores iguales y mayores a 0,5).
- El CURSO asimismo lo hace bastante bien con la edad y con las variables: AIRE_A, MOLECU, REAC_1, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, CAUSA, MODE_2 Y RAE (se consideraron los valores iguales y mayores a 0,5).
- El SEXO no correlaciona con ninguna de las variables construidas, lo que indica que no es un factor predictivo de la capacidad de los alumnos relacionada con el enlace químico. Dado que la diferencia entre sexos es aún evidente en nuestra sociedad y que ésta viene generada por la interacción de los entrevistados con su medio cultural y social, es posible concluir que se están evaluando conocimientos adquiridos por el alumno primordialmente por su interacción con su medio natural y educativo de modo individual, y que no hay influencia de factores culturales o sociales asociados al sexo.
- El RENDIMIENTO ACADÉMICO, igual que el SEXO, no correlaciona bien con ninguna de las variables construidas. Esto es, los alumnos con mejores notas en su expediente no muestran sistemáticamente mejores resultados en la entrevista, lo que a nuestro parecer se puede interpretar como la escasa influencia del contenido que nos ocupa -enlace químico- en las evaluaciones escolares. Sin embargo, también este hecho se puede interpretar de otro modo: confirmando la adecuación de las tareas propuestas en la entrevista para evaluar el conocimiento adquirido por interacción individual, independientemente de los contenidos escolares. Téngase en cuenta, en este sentido, que todos los conocimientos teóricos necesarios se le facilitaban al alumno en el curso de la entrevista, con lo que se trataba de independizar su actuación de lo que pudieran saber o recordar de su conocimiento académico.

- Las variables ACIE_A, ACIE_D, AGUA_A, AGUA_B, REAC_3, y, en menor medida, MACROM, correlacionan mal con el resto de las mismas. Este hecho será mejor interpretado cuando se hagan otros análisis, para no aventurarnos demasiado en estos momentos. No obstante, posiblemente puedan estar recogiendo respuestas no relacionadas con los verdaderos esquemas de conocimiento del estudiante en el área del enlace químico.

	EDAD	CURSO	SEXO	R_A	ACIE_A	ACIE_D	AIRE_A	AIRE_B	AGUA_A	AGUA_B	MOLECU	REAC_1
EDAD	1,000											
CURSO	,939(**)	1,000										
SEXO	,039	,092	1,000									
R_A	-,491(**)	-,449(**)	,199	1,000								
ACIE_A	,067	,079	-,140	-,044	1,000							
ACIE_D	,160	,223	,132	,073	,671(**)	1,000						
AIRE_A	,522(**)	,599(**)	,192	-,323(*)	-,018	,129	1,000					
AIRE_B	,409(**)	,391(*)	,108	-,155	,258	,161	,541(**)	1,000				
AGUA_A	,212	,288	,091	-,172	,010	-,048	,486(**)	,264	1,000			
AGUA_B	-,031	-,019	,121	-,030	,129	-,085	,190	,524(**)	,690(**)	1,000		
MOLECU	,705(**)	,732(**)	,042	-,263	,096	,234	,454(**)	,442(**)	,304	,075	1,000	
REAC_1	,641(**)	,539(**)	,037	-,213	-,112	-,111	,328(*)	,325(*)	-,127	-,151	,220	1,000
REAC_2	,416(**)	,393(*)	,216	-,064	-,110	-,047	,089	,177	,091	-,021	,425(**)	,432(**)
REAC_3	,012	-,034	-,084	,209	-,036	-,194	-,221	-,222	-,230	-,373(*)	,042	,218
MACROM	,329(*)	,204	,041	,037	-,185	,010	,165	,066	-,092	-,252	,082	,522(**)
ENLA_1	,586(**)	,590(**)	-,073	-,303	,101	,135	,332(*)	,270	,363(*)	,121	,451(**)	,301
ENLA_2	,674(**)	,701(**)	,189	-,143	,126	,348(*)	,412(**)	,312	,034	-,206	,675(**)	,358(*)
ENLA_3	,649(**)	,701(**)	,223	-,257	,043	,210	,365(*)	,215	,079	-,142	,589(**)	,272
MODELE	,602(**)	,572(**)	,086	-,092	,219	,085	,258	,374(*)	,329(*)	,236	,434(**)	,446(**)
IONES1	,469(**)	,468(**)	,072	-,139	-,076	-,146	,334(*)	,336(*)	,273	,223	,282	,383(*)
CAUSA	,691(**)	,691(**)	,011	-,201	,140	,166	,442(**)	,341(*)	,353(*)	,142	,559(**)	,346(*)
MODE_2	,621(**)	,591(**)	,148	-,216	,154	-,019	,331(*)	,398(*)	,315(*)	,239	,457(**)	,464(**)
RAE	,831(**)	,823(**)	,141	-,266	,073	,097	,597(**)	,611(**)	,436(**)	,242	,726(**)	,579(**)

	REAC_2	REAC_3	MACROM	ENLA_1	ENLA_2	ENLA_3	MODELE	IONES1	CAUSA	MODE_2	RAE
REAC_2	1,000										
REAC_3	,325(*)	1,000									
MACROM	,177	,436(**)	1,000								
ENLA_1	,374(*)	-,062	,078	1,000							
ENLA_2	,398(*)	,068	,238	,553(**)	1,000						
ENLA_3	,345(*)	,008	-,015	,502(**)	,554(**)	1,000					
MODELE	,366(*)	,229	,358(*)	,434(**)	,307	,444(**)	1,000				
IONES1	,082	,146	,126	,353(*)	,062	,448(**)	,625(**)	1,000			
CAUSA	,351(*)	-,134	,004	,557(**)	,486(**)	,503(**)	,411(**)	,379(*)	1,000		
MODE_2	,383(*)	,214	,288	,574(**)	,265	,514(**)	,624(**)	,655(**)	,495(**)	1,000	
RAE	,520(**)	,112	,335(*)	,688(**)	,611(**)	,644(**)	,738(**)	,618(**)	,672(**)	,803(**)	1,000

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 28. Matriz de correlaciones entre variables.

- Salvo excepciones aisladas, las variables restantes (AIRE_A, AIRE_B, MOLECU, REAC_1, REAC_2, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA Y MODE_2) muestran un alto grado de correlación, que es especialmente significativo, al nivel del 99% de confianza, entre ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA Y MODE_2 que, junto a EDAD, CURSO y RAE, conforman un cuadro lo suficientemente coherente como para afirmar que son las mejores variables derivadas de este análisis para encontrar la evolución de los niveles explicativos de los alumnos.

3.2 Análisis factorial de variables

Uno de los objetivos de esta investigación es el de interpretar, a la luz de ciertas entidades no observables, los esquemas explicativos encontrados. Ello supone extraer información significativa de la matriz de correlaciones y averiguar si las interrelaciones son explicables en términos de un pequeño número de factores, no observados o latentes. Con este fin, se realiza el análisis factorial.

El análisis factorial de componentes principales tiene la característica de no asumir previamente ninguna estructura en los datos. Es de tipo exploratorio y suele ser recomendado en un primer análisis de los mismos. Esta técnica parte de la matriz de correlaciones y pretende transformar el espacio de los datos definidos por las 23 variables en un nuevo espacio formado por un número bastante menor de factores, de tal forma que éstos explican la mayor parte de la varianza (Caridad, 1989; en Benarroch, 1998). Las variables originales son combinaciones lineales de los factores obtenidos y los coeficientes de dichas combinaciones lineales son indicativos de los “pesos” de las variables en los respectivos factores. Estos pesos representan la amplitud con la que las variables se relacionan con el factor hipotético.

El primer factor que se extrae de las variables es el que mejor resume la información contenida en la matriz de datos original, y, por tanto, el que contribuye a explicar la mayor parte de la varianza total; el segundo factor resume la restante información, es decir aporta un máximo de la varianza residual y es a su vez independiente del primero. Este proceso se puede seguir hasta que la varianza explicada por los factores extraídos sea del 100%. Sin embargo, sobre el número de factores a extraer hay que combinar el sentido práctico del análisis (sacar un mínimo de factores que expliquen un máximo de variabilidad total) con la posibilidad

de distorsionar la proporción de varianza de los factores no retenidos en la solución final. Salvo que se indique lo contrario, el SPSS 15.0 utiliza como criterio por defecto para seleccionar el número de factores elegir sólo los que explican una varianza mayor a la unidad.

Si se realiza el análisis factorial de componentes principales con todas las variables, se obtienen los resultados que se indican en la tabla 29.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	9,634	41,889	41,889	9,634	41,889	41,889
2	2,464	10,715	52,604	2,464	10,715	52,604
3	2,025	8,803	61,407	2,025	8,803	61,407
4	1,479	6,431	67,838	1,479	6,431	67,838
5	1,400	6,085	73,923	1,400	6,085	73,923
6	1,136	4,939	78,862	1,136	4,939	78,862
7	1,097	4,768	83,630	1,097	4,768	83,630
8	,738	3,210	86,839			
9	,626	2,722	89,561			
10	,445	1,934	91,495			
11	,392	1,703	93,198			
12	,356	1,547	94,745			
13	,333	1,450	96,195			
14	,236	1,024	97,219			
15	,187	,814	98,034			
16	,157	,682	98,715			
17	,115	,500	99,215			
18	,067	,289	99,504			
19	,056	,242	99,746			
20	,038	,163	99,909			
21	,018	,079	99,988			
22	,003	,012	100,000			
23	-5,46E-017	-2,37E-016	100,000			

Tabla 29. Análisis factorial: Varianza total explicada.

En ella, se puede ver que siete han sido los factores seleccionados por el programa estadístico, por ser los que explican un grado de varianza de los datos mayor a la unidad. En conjunto, estos siete factores explican el 83,630% de los datos y el primer factor sólo explica casi el 42% (exactamente el 41,889 %).

Pero lo más importante de este análisis es la posibilidad de interpretar el significado de los factores extraídos analizando la naturaleza de las variables que presentan

unos pesos factoriales elevados en cada uno de ellos. Los pesos factoriales de las variables respecto a los factores construidos en este análisis pueden verse en la tabla 30.

	Componente						
	1	2	3	4	5	6	7
EDAD	,916	-,069	-,250	-,183	-,128	,011	-,040
CURSO	,897	-,068	-,285	-,208	-,111	,033	-,029
SEXO	,202	-,043	,520	-,387	,493	-,177	-,063
R_A	-,382	-,163	,239	,277	,544	-,064	,177
ACIE_A	,055	,425	-,575	,194	,506	,001	,176
ACIE_D	,204	,454	-,605	-,085	,395	,196	,146
AIRE_A	,692	,119	,028	-,564	,169	,203	-,197
AIRE_B	,623	,410	,085	-,014	,198	-,475	,010
AGUA_A	,383	,565	,360	-,025	-,208	,452	,232
AGUA_B	,213	,810	,428	,111	-,087	-,191	,090
MOLECU	,717	-,108	-,270	-,112	,029	-,202	,063
REAC_1	,794	-,180	,031	-,230	-,105	-,277	-,023
REAC_2	,507	-,303	,216	-,055	-,128	-,338	,594
REAC_3	,212	-,697	,160	,259	,300	,213	,251
MACROM	,482	-,133	,421	-,284	,213	,480	,091
ENLA_1	,693	,015	-,122	,405	-,297	,177	,207
ENLA_2	,737	-,288	-,311	-,178	-,047	,026	,211
ENLA_3	,725	-,361	-,106	,288	,146	,003	-,334
MODELE	,841	,120	,146	,236	,107	,096	,084
IONES1	,712	-,007	,183	,317	,094	,017	-,502
CAUSA	,796	,091	,095	,274	-,053	,027	-,112
MODE_2	,814	,072	,115	,254	,059	-,047	-,055
rae	,983	,051	,117	,096	,007	-,007	,064

Método de extracción: Análisis de componentes principales a 7 componentes extraídos.

Tabla 30. Matriz de componentes principales(a).

En la tabla 30, los datos son bastante relevantes y llevan a una serie de consideraciones. Comentaremos tan sólo los dos primeros factores pues a partir del tercero tan sólo explican alrededor del 6% de los datos.

- El factor 1, que explica el 42% de la varianza de los datos, está representado por las variables EDAD, CURSO, AIRE_A, AIRE_B, MOLECU, REAC_1, REAC_2, MACROM, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA, MODE_2 y RAE. Esta estructura confirma la alta coherencia ya encontrada en el análisis de correspondencias entre estas variables. La única excepción entre este listado y el alcanzado en el análisis de correspondencias como el conjunto de variables que proporciona índices de

correlación altos entre las mismas, se encuentra en la variable MACROM, que es no obstante la que tiene el menor peso factorial de las citadas.

- El segundo factor, que explica tan sólo el 10,7% de la varianza, parece estar construido para las tres variables del cuestionario AGUA_A, AGUA_B y REAC_3, con la peculiaridad que esta última pondera negativamente en el factor, queriendo decir con ello que este factor depende de modo inversamente proporcional de los resultados de la variable REAC_3. El dato más relevante que posteriormente podría ser analizado de modo cualitativo es que hay relación directa entre las variables AGUA_A y AGUA_B (lo que es fácilmente interpretable), e inversa en la variable REAC_3. Esto se confirma al leer en la matriz de correlaciones los índices de correlación, que son [REAC_3, AGUA_A, -0,230] y [REAC_3, AGUA_B, -0,373(*)], que tampoco son excesivamente altos.

Si se realiza el análisis factorial eliminando las variables que correlacionan peor con las restantes, esto es, con EDAD, CURSO, AIRE_A, AIRE_B, MOLECU, REAC_1, REAC_2, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA, MODE_2 y RAE, se obtienen los resultados de la tabla 31.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7,899	52,662	52,662	7,899	52,662	52,662
2	1,419	9,459	62,121	1,419	9,459	62,121
3	1,284	8,558	70,679	1,284	8,558	70,679
4	,948	6,320	76,999			
5	,757	5,047	82,045			
6	,579	3,858	85,904			
7	,463	3,083	88,987			
8	,396	2,641	91,628			
9	,348	2,317	93,946			
10	,330	2,202	96,147			
11	,223	1,484	97,631			
12	,189	1,261	98,892			
13	,149	,992	99,884			
14	,012	,082	99,966			
15	,005	,034	100,000			

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Tabla 31. Análisis factorial realizado con las variables que mejor correlacionan.

En la tabla 31, se observan que se extraen tan sólo tres factores, lo que indica la utilidad del análisis al explicar una gran proporción de varianza (casi el 71% como indica el último dato de la última columna de la tabla 31) con muy pocos factores. Pero lo más importante de este análisis es que el factor 1 explica más del 50% de la varianza de los datos (exactamente el 52,662 %), lo que lleva a que analicemos de modo cuidadoso quiénes son las variables que presentan valores propios elevados en el mismo. En la tabla 32 se presentan los valores propios de las respectivas variables en cada uno de los factores. En el caso del factor 1, todas las variables seleccionadas tienen valores propios superiores a 0,5, lo que confirma, una vez más, la fuerte interrelación entre las variables objeto de este análisis.

	Componente		
	1	2	3
EDAD	,909	,181	-,012
CURSO	,895	,206	,004
AIRE_A	,556	,170	,683
AIRE_B	,554	-,034	,616
MOLECU	,696	,371	,096
REAC_1	,637	,015	-,086
REAC_2	,519	,245	-,477
ENLA_1	,703	,010	-,282
ENLA_2	,684	,588	-,090
ENLA_3	,724	-,056	-,164
MODELE	,721	-,392	-,151
IONES1	,610	-,680	,106
CAUSA	,775	-,178	,062
MODE_2	,759	-,329	-,197
rae	,969	-,106	,047

Método de extracción: Análisis de componentes principales. a 3 componentes extraídos.

Tabla 32. Análisis factorial realizado con las variables que mejor correlacionan.

3.3 Conclusiones del análisis estadístico de variables

Del análisis de correspondencias y del análisis factorial emergen ciertas consideraciones uniformes sobre las variables creadas a partir de la entrevista individual sobre el enlace químico:

- La primera y más importante es el alto grado de coherencia mostrado por un alto número de ellas. Este hecho es más sorprendente si se cae en la cuenta de que han sido creadas de modo intuitivo sobre las respuestas dadas por

los alumnos ante situaciones muy distintas y con contenidos académicos con diferente grado de dificultad. Las variables a las que nos estamos refiriendo son: EDAD, CURSO, AIRE_A, AIRE_B, MOLECU, REAC_1, REAC_2, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA, MODE_2 y RAE. Entre ellas, las que presentan una relación más íntima aún son MOLECU, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA, MODE_2, que, junto a EDAD, CURSO y RAE, conforman un cuadro lo suficientemente coherente como para afirmar que son las mejores variables derivadas de este análisis para encontrar la evolución de los niveles explicativos de los alumnos.

- Respecto al resto de las variables, se puede destacar:
 - Las variables SEXO y RENDIMIENTO ACADÉMICO no resultan significativas en este estudio, probablemente porque en él se trata de indagar en las capacidades individuales de los estudiantes, por interacción con el mundo físico, de forma independiente de lo que puedan saber y de los valores culturales y sociales que les rodean, como ya ha sido explicado con anterioridad.
 - Las variables ACIE_A, ACIE_D, AGUA_A, AGUA_B, REAC_3 y MACROM se muestran independientes de las demás, lo que puede ser explicado, bien porque estén mal construidas, o bien porque su contenido no sea coherente con las capacidades de los alumnos mostradas cuando se enfrentan a situaciones en las que han de poner en juego sus habilidades cognoscitivas referidas al enlace químico.
- El último aspecto destacable del análisis de variables es lo altamente significativa que se ha mostrado la variable RAE (resultados acumulados de la entrevista), creada simplemente por la suma aritmética de los resultados obtenidos en las demás variables y cuya significación viene a destacar una vez más el alto grado de coherencia global en los datos obtenidos a partir de la entrevista.

4. AGRUPAMIENTO DE SUJETOS POR SUS COMPORTAMIENTOS SEMEJANTES. ANÁLISIS CLUSTER

El análisis de cluster es una herramienta exploratoria diseñada para mostrar grupos (o clusters) dentro de un conjunto de datos que, de otra manera no podrían ser visibles. El algoritmo empleado por este procedimiento tiene varias características que lo diferencian de las técnicas tradicionales:

- La habilidad para crear clusters basados en variables categóricas y continuas.
- Selección automática del número de clusters.
- Habilidad para analizar grandes archivos de datos eficientemente

El programa estadístico da la opción al usuario de elegir el número de clúster que desea construir, o bien, dejar que sea el mismo programa el que elija por defecto el mejor número de cluster. En este último caso, en nuestro caso, el programa elige únicamente dos clúster, en el primero de los cuales ubica a la mayoría de los alumnos de EGB y en el segundo a los alumnos de Polimodal y Universidad. Como este resultado no es suficientemente discriminante para nuestros objetivos, hemos estudiado la tabla 33 de los criterios bayesianos de Schwarz (BIC) que nos aporta el módulo del análisis de conglomerado en dos fases.

Número de conglomerados	Criterio bayesiano de Schwarz (BIC)	Cambio en BIC(a)	Razón de cambios en BIC(b)	Razón de medidas de distancia(c)
1	2404,398			
2	2365,128	-39,270	1,000	1,651
3	2460,626	95,498	-2,432	1,491
4	2624,311	163,685	-4,168	1,085
5	2798,840	174,530	-4,444	1,428
6	3011,702	212,861	-5,421	1,099
7	3232,628	220,926	-5,626	1,043
8	3456,914	224,286	-5,711	1,174
9	3692,781	235,867	-6,006	1,040
10	3931,239	238,458	-6,072	1,083
11	4174,602	243,363	-6,197	1,004
12	4418,206	243,603	-6,203	1,133
13	4668,712	250,506	-6,379	1,132
14	4925,276	256,565	-6,533	1,005
15	5182,060	256,784	-6,539	1,031

a Los cambios proceden del número anterior de conglomerados de la tabla.

b Las razones de los cambios están relacionadas con el cambio para la solución de los dos conglomerados.

c Las razones de las medidas de la distancia se basan en el número actual de conglomerados frente al número de conglomerados anterior.

Tabla 33. Análisis del número de conglomerados óptimo para nuestro estudio.

En la tabla 33, los valores más pequeños de BIC indican los mejores modelos, por lo que en esta situación la mejor agrupación es la que está formada por dos clúster. Sin embargo, como el mismo tutorial del programa señala, cuando las razones de cambios en BIC no son muy grandes, queda justificada la elección del número de clúster que interese. En nuestro caso, el BIC aumenta más al pasar de dos a tres conglomerados que al pasar de tres a cuatro, lo que justifica que se hayan elegido cuatro clúster para realizar el análisis siguiente.

Una vez que se ha decidido el mejor número de cluster, se ha realizado la técnica de cluster de K-medias, utilizando todas las variables que se han mostrado más significativas según el análisis de variables, a saber, EDAD, CURSO, AIRE_A, AIRE_B, MOLECU, REAC_1, REAC_2, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA, MODE_2, RAE. Esta técnica asigna cada sujeto al cluster cuyo centro (también llamado centroide) está más cerca. El centro es la media de todos los puntos del cluster, esto es, sus coordenadas son la media aritmética de las que caracteriza cada uno de los puntos del cluster. En esta técnica, se utiliza la distancia euclidiana para medir las similitudes entre sujetos. El resultado indica que los grupos no están formados por el mismo número de alumnos. Como se indica en la tabla 34, el cluster 1 está formado por 10 alumnos, el 2 por 4 alumnos, el 3 por 11 y el 4 por 15 alumnos.

Conglomerado	1	10,000
	2	4,000
	3	11,000
	4	15,000
Válidos		40,000
Perdidos		,000

Tabla 34. Número de casos en cada conglomerado.

La tabla 35, da las distancias de las medias de cada variable a los centros de los conglomerados finales; nos indica que el cluster 2 está formado por alumnos de menor rendimiento en la entrevista (valor medio 34,25) y de menor edad (valor medio 12,0); le sigue el cluster 1, formado por los 10 alumnos de media de RAE 47,00 y de EDAD 13,0; a continuación, el cluster 3 está formado por los 11 alumnos cuya media de RAE es 58,00 y cuya media de EDAD es de 14,5 años. El grupo

superior, formado por 15 alumnos, tiene un RAE de 67,40 puntos de media y una EDAD de 17,4.

	Conglomerado			
	1	2	3	4
rae	47,00	34,25	58,00	67,40
EDAD	13,0	12,0	14,5	17,4
CURSO	1	1	2	3
AIRE_A	3	2	4	4
AIRE_B	3	2	4	5
MOLECU	1	1	2	3
REAC_1	2	1	1	3
REAC_2	3	2	4	4
ENLA_1	3	3	4	5
ENLA_2	2	3	3	5
ENLA_3	4	3	4	5
MODELE	3	2	4	5
IONES1	3	2	4	4
CAUSA	4	2	5	5
MODE_2	2	1	3	4

Tabla 35. Centros de los conglomerados finales.

Asimismo, el programa SPSS nos genera, si se lo pedimos en las opciones, el listado de los alumnos que se encuentran en cada grupo y las distancias de sus coordenadas respecto a las del cluster. Ver tabla 36 que se muestra a continuación.

Número de caso	ALUMNO	Conglomerado	Distancia	Número de caso	ALUMNO	Conglomerado	Distancia
1	Cat	2	3,255	21	Vic	4	5,248
2	Jos	2	5,576	22	Her	4	5,433
3	Mic	1	3,598	23	Jer	3	4,733
4	Jul	2	3,818	24	Pab	1	3,602
5	Gua	1	7,755	25	Var	3	4,848
6	Mar	2	7,253	26	Nan	4	4,491
7	Gac	1	3,059	27	Mav	1	5,411
8	Agu	1	3,317	28	Mat	4	3,965
9	Gab	3	3,970	29	Nie	4	5,407
10	Fra	1	3,058	30	Dan	3	5,768
11	Cla	1	3,518	31	Mel	4	4,829
12	Cia	1	5,602	32	Ric	4	3,677
13	Rey	3	702	33	Pao	4	4,551
14	Ina	3	3,928	34	Bel	4	5,439
15	Gui	1	2,850	35	Fac	4	9,187
16	Luc	3	4,425	36	Rac	4	2,909
17	Gim	3	5,243	37	Gal	4	3,779
18	Oli	3	4,384	38	Mas	4	3,492
19	Kar	3	6,745	39	Ang	4	5,336
20	Ago	3	5,820	40	Flo	4	6,563

Tabla 36. Identificación de los alumnos en cada grupo y las distancias de sus coordenadas respecto a las del cluster.

En la siguiente figura 7 se puede ver más fácilmente la pertenencia de cada alumno al grupo que la técnica de K-medias le asigna.

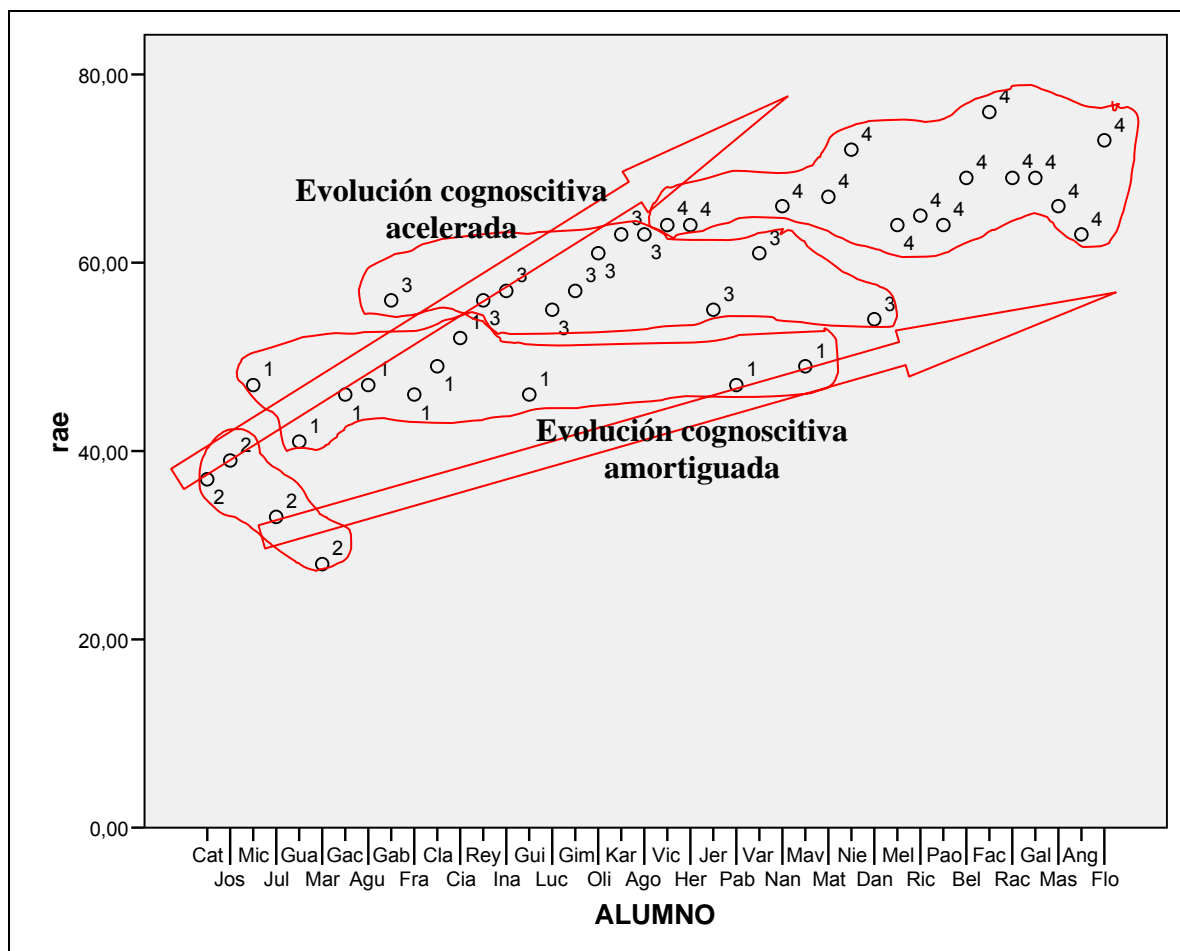


Figura 7. Pertenencia de cada alumno al grupo correspondiente según la técnica de K-medias.

Asimismo, esta técnica también confirma la importancia de la variable RAE. En efecto, si se representan los valores de esta variable frente a la EDAD de los sujetos, se obtiene la interesante figura 8.

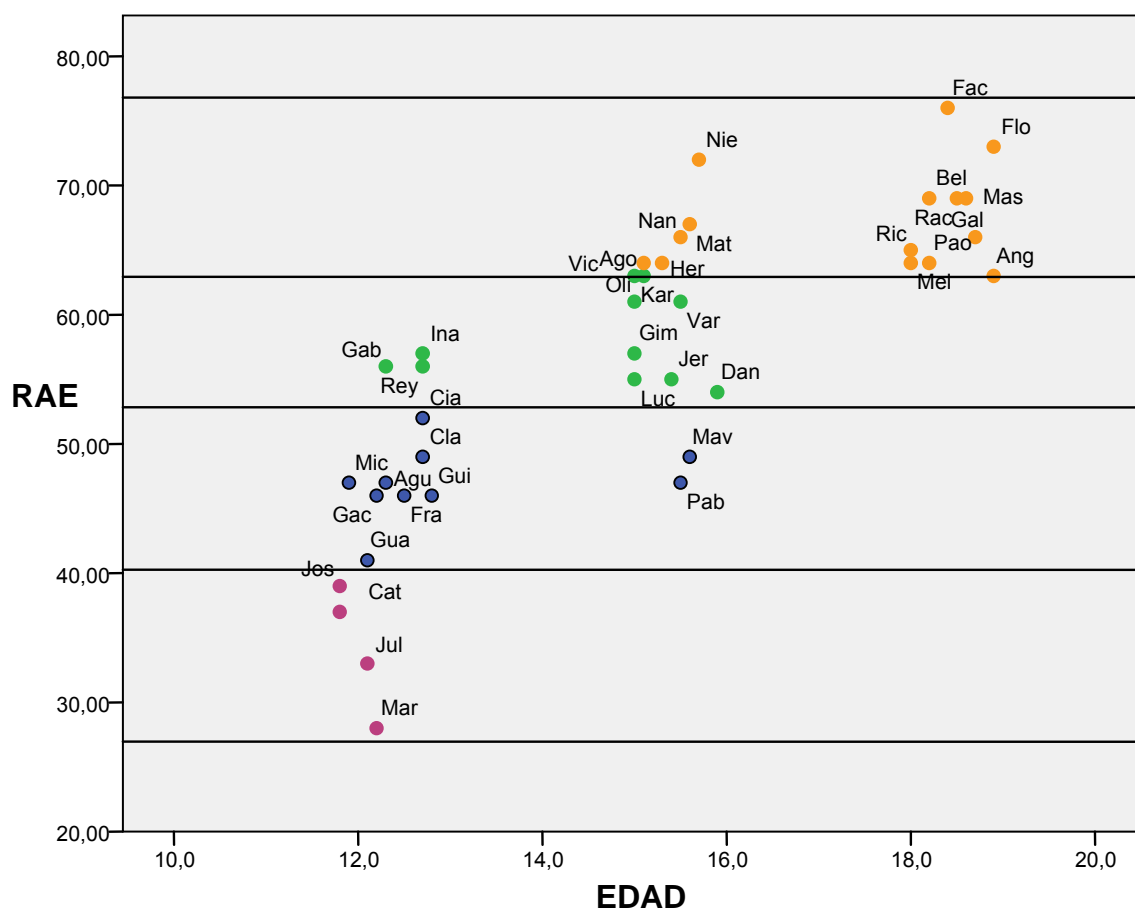


Figura 8: Distribución de los alumnos según su rendimiento acumulado en la entrevista y según su edad.

4.1 Conclusiones sobre el agrupamiento de los sujetos

El análisis de la figura 8 permite destacar dos aspectos importantes:

- Que los alumnos de EGB y de Polimodal se distribuyen en tres grupos distintos de eficacia en la entrevista. Concretamente, los alumnos de 12 años pueden pertenecer a los grupos bajo, medio-bajo y medio-alto, y los de 15 años a los grupos medio-bajo, medio-alto y alto. En cambio, todos los alumnos de 18 años pertenecen al grupo alto.
- Que la variable RAE tiene tanta significación que permite dividir el espacio del eje vertical en subespacios que sólo contienen alumnos del mismo cluster. Esto se puede comprobar porque todos los puntos que caen dentro

de cada división del eje vertical son del mismo color indicando que pertenecen al mismo grupo. Los valores de los intervalos de RAE para cada grupo y los alumnos que los ocupan son los que se muestran a continuación en la tabla 37.

GRUPO	INTERVALO DE RAE	ALUMNOS	Nº DE ALUMNOS
BAJO	[28, 39]	Cat, Jos, Jul, Mar	4
MEDIO-BAJO	[41, 52]	Mic, Gua, Gac, Agu, Fra, Cla, Cia, Gui, Pab, Mav	10
MEDIO-ALTO	[54, 63]	Gab, Rey, Ina, Luc, Gim, Oli, Kar, Ago, Jer, Var,	11
ALTO	[64, 76]	<i>Vic, Her, Nan, Mat, Nie, Mel, Ric, Pao, Bel, Fac, Rac, Gal, Mas, Ang, Flo</i>	15

Tabla 37. Agrupamiento de los estudiantes.

En consecuencia, como resultado de esta clasificación, se ha introducido en la base de datos una nueva variable denominada RAE_2, que identifica el grupo o clúster de pertenencia de cada alumno, de modo que esta variable toma el valor 1 para los alumnos del grupo bajo; 2 para los del grupo medio-bajo; 3 para los del grupo medio-alto y 4 para los del grupo alto.

Finalmente, vamos a realizar un análisis de correspondencias múltiples.

5. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES (ACM)

Según Benarroch (1998), la identificación del comportamiento cognitivo de los sujetos y/o grupos de sujetos durante la entrevista, conduce a la necesidad de profundizar en las relaciones de dependencia que se establecen entre las variables categóricas definidas anteriormente. Precisamente, esta autora expresa que lo que interesa conocer es:

- Cómo se relacionan los distintos valores o categorías de dichas variables.
- Qué variables están bien construidas o, por el contrario, cuáles tienen inversiones o lagunas en los órdenes categoriales.

- Cómo modificar los módulos categoriales para que sean verdaderamente representativos de la evolución cognitiva de los sujetos y no de los esquemas de partida de la entrevistadora.

La técnica de análisis de datos que resulta adecuada para resolver problemas donde juegan un papel importante las variables categóricas, es el análisis de correspondencias múltiples (ACM). Sus consideraciones son de carácter geométrico, está dentro de las técnicas descriptivas de la estadística, y permite el paso de lo cualitativo a lo cuantitativo, de lo heterogéneo a una construcción de orden estructural (Cornejo, 1988, citado en Benarroch, 1998).

El ACM permite estudiar una población de individuos descritos por varias variables cualitativas (o categóricas). Los valores posibles que toman las variables categóricas, se denominan modalidades de la variable.

Una de las aplicaciones más corrientes del ACM es el tratamiento del conjunto de respuestas a una encuesta. En nuestro caso, cada variable construida inductivamente de la entrevista constituye una variable categórica cuyas modalidades son las agrupaciones de respuestas propuestas, llamadas en esta investigación categorías empíricas.

Además de las variables derivadas de la entrevista, contamos con las variables de caracterización, tales como EDAD, SEXO Y CURSO, así como la derivada del análisis de clúster visto en el apartado anterior, RAE_2, que categoriza a RAE (Rendimiento Acumulado de la Entrevista).

A continuación se van a presentar dos análisis de correspondencias múltiples realizados, respectivamente, con todas las variables de la entrevista consideradas como principales o activas, y, en segundo lugar, únicamente con las variables que en el anterior se muestren más significativas.

5.1 Análisis de Correspondencias Múltiples con todas las variables de la entrevista como principales

Con un ACM, donde el conjunto de variables correspondientes a la entrevista son consideradas como principales (activas), y las de caracterización como suplementarias, se puede esperar:

- Un estudio de la tipología de los alumnos. Dos alumnos son próximos si las variables activas son similares en sus respuestas. En otras palabras, estos alumnos tienen comportamiento similar ante una determinada situación, por lo tanto, son similares en sus respuestas.
- Un estudio de las relaciones entre las diferentes modalidades de las variables principales. Si varias variables toman la misma modalidad en un determinado grupo de alumnos, éstas constituyen un grupo que será puesto en evidencia. Si, a la inversa, hay fenómenos de exclusión, estos serán detectados.
- Con los elementos suplementarios, un estudio de la relación entre cada una de las variables de caracterización, tomadas por separado, y los principales factores de variabilidad de los perfiles de las restantes variables activas. Por ejemplo, el gráfico que tomamos de EDAD, que es variable suplementaria, con las variables activas RAE_2, MOLECU y demás.

El instrumento de recogida de datos debe cubrir los requisitos de fiabilidad y validez. Una prueba es fiable cuando los resultados que genera son estables, equivalentes o consistentes, es decir cuando al aplicarse dicha prueba, ésta es capaz de generar un elevado grado de confianza con respecto a los resultados obtenidos. Ello significa que los errores de medición han sido controlados y reducidos de forma satisfactoria. Esta fiabilidad relativa se puede conocer estimando el coeficiente de fiabilidad Alfa de Cronbach (Salmerón y González, 2005).

Considerando que en el ámbito educativo suele ser aceptable un coeficiente de fiabilidad de 0,60 o superior, el valor obtenido en la tabla 38 indica que nuestro cuestionario tiene una fiabilidad alta (Alfa de Cronbach = 0,910). Así mismo, el Alfa de Cronbach proporciona información sobre las relaciones entre elementos individuales de la escala, es decir, entre las modalidades de cada escala.

Dimensión	Alfa de Cronbach	Varianza explicada		
	Total (Autovalores)	Inercia	% de la varianza	Total (Autovalores)
1	,927	6,638	,553	55,318
2	,881	5,207	,434	43,388
Total		11,845	,987	
Media	,907(a)	5,922	,494	49,353

a El Alfa de Cronbach Promedio está basado en los autovalores promedio.

Tabla 38. Resumen del modelo.

La inercia indica la importancia de cada eje o dimensión, que es calculada a través de los autovalores. Cada eje o dimensión, es una combinación lineal de las variables activas, de modo que cada variable tiene una determinada importancia en cada eje (peso).

El tanto por ciento de varianza indica que los dos ejes o dimensiones del modelo son importantes, y que si el primero recoge el 55,3% de la varianza, el segundo explica el 43,4%. Entre ambos, explican el 98,7% de la varianza total de los datos.

Con el objeto de seleccionar las variables más relevantes del estudio, se procede a analizar la importancia (peso) de cada variable en estos dos ejes o dimensiones. La tabla 39 muestra la importancia de cada variable en los dos primeros factores:

	Dimensión		Media
	1	2	
ACIE_A	,165	,308	,236
ACIE_D	,086	,304	,195
AIRE_A	,522	,254	,388
AIRE_B	,428	,332	,380
AGUA_A	,439	,396	,467
AGUA_B	,428	,448	,438
MOLECU	,717	,067	,392
REAC_1	,406	,068	,237
REAC_2	,376	,143	,259
REAC_3	,032	,147	,089
MACROM	,492	,096	,294
ENLA_1	,553	,581	,567
ENLA_2	,532	,725	,628
ENLA_3	,589	,636	,612
MODELE	,543	,577	,560
IONES1	,473	,609	,541
CAUSA	,635	,628	,631
MODE_2	,572	,357	,465
rae_2(a)	,867	,224	,546
CURSO(a)	,762	,097	,429
edad_2(a)	,762	,097	,429
Total activo	8,089	6,674	7,381

a Variable suplementaria

Tabla 39. Medidas de discriminación.

Por otro lado, teniendo en cuenta el peso de las variables anteriores respecto al primer factor, vemos que las variables que mejor lo definen, es decir, las que tienen mayor carga en el mismo, son: MOLECU, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1,

CAUSA, MODE_2 y RAE_2, como variables principales y las de categorización EDAD, CURSO y RAE_2. Hay que llamar la atención del hecho de que estas variables coinciden con las seleccionadas mediante el análisis de variables, lo que viene a confirmar la coherencia del análisis multivariable realizado.

A continuación, presentamos un nuevo ACM realizado únicamente con estas variables seleccionadas.

5.2 Análisis de Correspondencias Múltiples con las variables más significativas del estudio

Si se realiza un ACM usando las variables más significativas del estudio, a saber, MOLECU, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA, MODE_2 y RAE_2 como variables principales o activas, y con EDAD, CURSO Y RAE_2 como variables suplementarias, se obtiene la tabla 40 como resumen del modelo.

Dimensión	Alfa de Cronbach	Varianza explicada		
	Total (Autovalores)	Inercia	% de la varianza	Total (Autovalores)
1	,945	6,252	,695	69,468
2	,884	4,659	,518	51,765
Total		10,911	1,212	
Media	,919(a)	5,455	,606	60,617

a El Alfa de Cronbach Promedio está basado en los autovalores promedio.

Tabla 40. Resumen del modelo del ACM con las variables más significativas.

La tabla 41 muestra la importancia (peso) de cada variable en los dos primeros factores. Los pesos factoriales de todas las variables seleccionadas, sobre todo, en el factor 1 son altos o muy altos.

	Dimensión		Media
	1	2	
MOLECU	,441	,317	,379
ENLA_1	,776	,666	,721
ENLA_2	,674	,709	,692
ENLA_3	,760	,678	,719
MODELE	,802	,597	,699
IONES1	,711	,390	,550
CAUSA	,782	,426	,604
MODE_2	,607	,340	,473
rae_2	,699	,536	,617
CURSO(a)	,461	,335	,398
edad_2(a)	,461	,335	,398
Total activo	6,252	4,659	5,455
% de la varianza	69,468	51,765	60,617

a Variable suplementaria.

Tabla 41. Peso de cada variable en las dos dimensiones del ACM.

Este análisis ACM puede aportar un gráfico del plano formado por ambos ejes con todas las categorías (distinguidas con números) de las variables más significativas (distinguidas por colores) del estudio. Este gráfico se muestra en la figura 9.

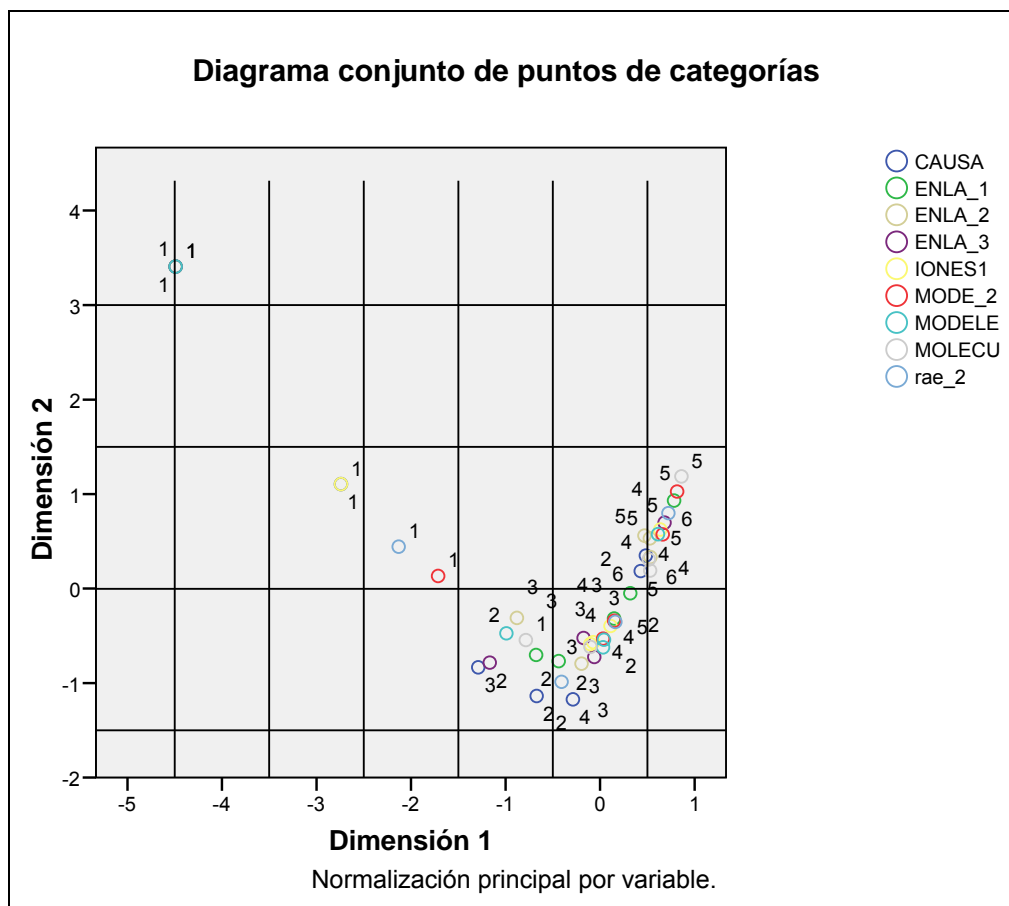


Figura 9. Diagrama de puntos de categorías para las variables CAUSA, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, IONES1, MODE_2, MODELE, MOLECU Y RAE_2.

Para esclarecer las categorías comprendidas en cada rectángulo del espacio gráfico, se pueden representar grupos más pequeños, o incluso las variables individuales, junto a alguna de las más representativas de la distribución en el mismo, como es RAE_2. Estas gráficas o representaciones permiten recategorizar las variables anteriores en nuevas variables, cuyas categorías se van a llamar estructurales pues vienen definidas por la situación que adquieren las antiguas en el espacio gráfico formado por las dos dimensiones creadas por el ACM. Por ejemplo:

- a) Si se representa la variable MOLECU, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico mostrado en la figura 10:

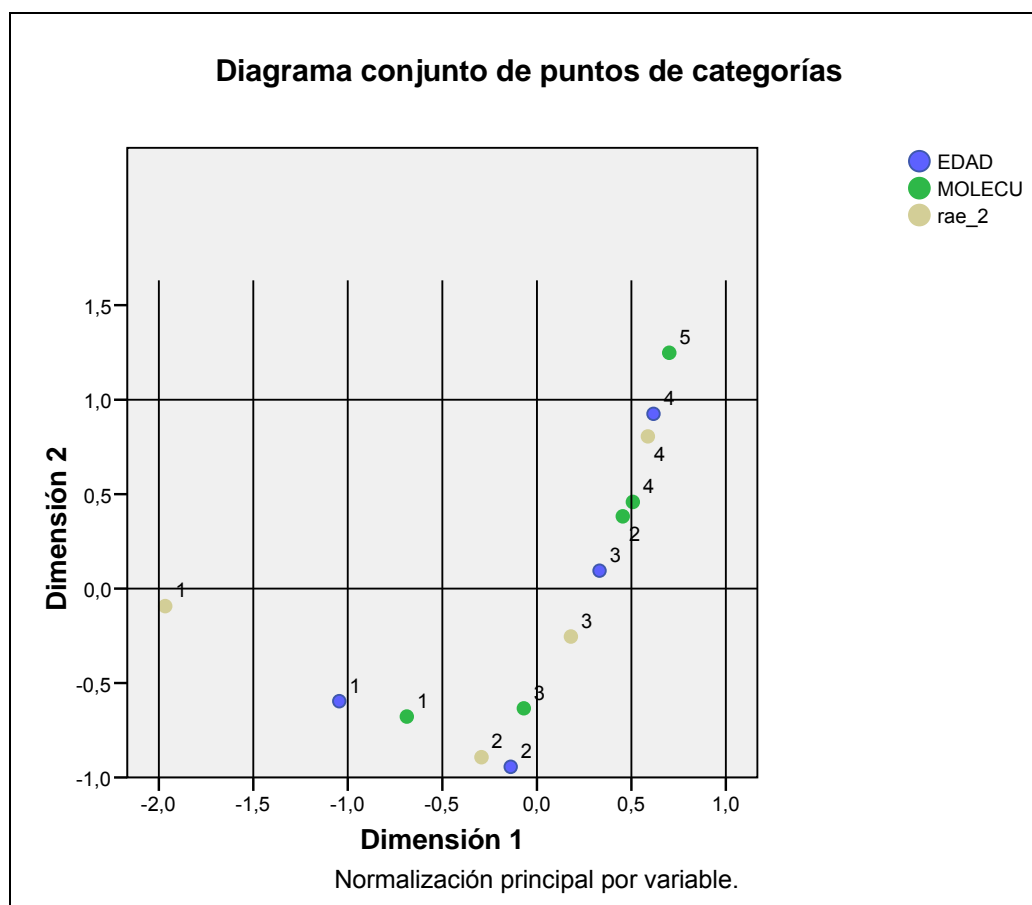


Figura 10. Diagrama de puntos de categorías para las variables MOLECU, EDAD y RAE_2.

De la figura anterior observamos, en primer lugar, el fuerte paralelismo entre las dos variables RAE_2 y EDAD (forzada, partir de ahora, a 4 grupos para comparar su paralelismo con RAE_2), aunque la primera es más discriminante que la segunda. Sin embargo, también se observa que, para la variable MOLECU, las categorías empíricas 1, 3 y 5 están separadas entre sí, y próximas respectivamente a los espacios definidos por la categorías 1, 2 y 4 de RAE_2 y EDAD. Sin embargo, las categorías 2 y 4 de MOLECU están próximas entre sí y cercanas a las definidas por la categoría 3 de las variables RAE_2 y EDAD. Esto nos sugiere que esta variable presenta en sus categorías empíricas una inversión entre las categorías 2 y 3, y además, que las categorías empíricas 2 y 4 pueden reconvertirse en una sola categoría estructural, dada la cercanía de ambas en el espacio estructurado por el ACM. El resultado de dichos cambios se puede observar en la tabla 42. En ella se observa que la categorías empíricas 1 y 5 pasan a ocupar los puestos 1 y 4 respectivamente de las categorías estructurales; la categoría empírica 3 pasa a ser

la categoría estructural 2 y que las categorías empíricas 2 y 4 se transforman en la nueva recategorización en la número 3.

b) Si se representa la variable ENLA_1, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico mostrado en la figura 11:

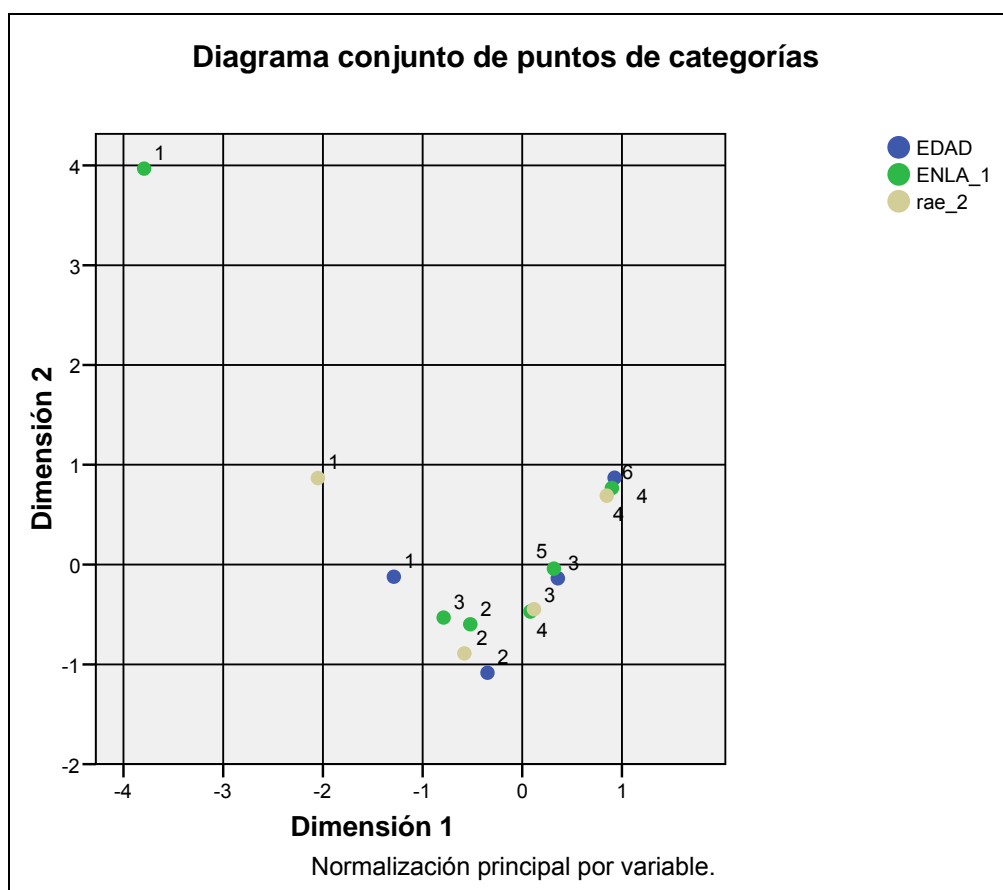


Figura 11. Diagrama de puntos de categorías para las variables ENLA_1, EDAD y RAE_2.

En este caso, las categorías empíricas 2 y 3 de ENLA_1 están muy próximas entre sí y cercanas a la categoría empírica 2 de RAE_2 y EDAD. Asimismo, las categorías empíricas 4 y 5 de ENLA_1 están también muy próximas entre sí y cercanas a la categoría empírica 3 de RAE_2 y EDAD. La categoría 6 de ENLA_1 está muy próxima a la 4 de RAE_2 y EDAD.

El producto de esta recategorización se puede observar en la tabla 42. Esto quiere decir que, de seis categorías iniciales con que contaba esta variable, finalmente,

van a existir 4, pues la número 2 y 3 se unen para formar la nueva categoría estructural 2 y las categorías 4 y 5 se unen para formar la categoría estructural 3.

- c) Si se representa la variable ENLA_2, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico presentado en la figura 12:

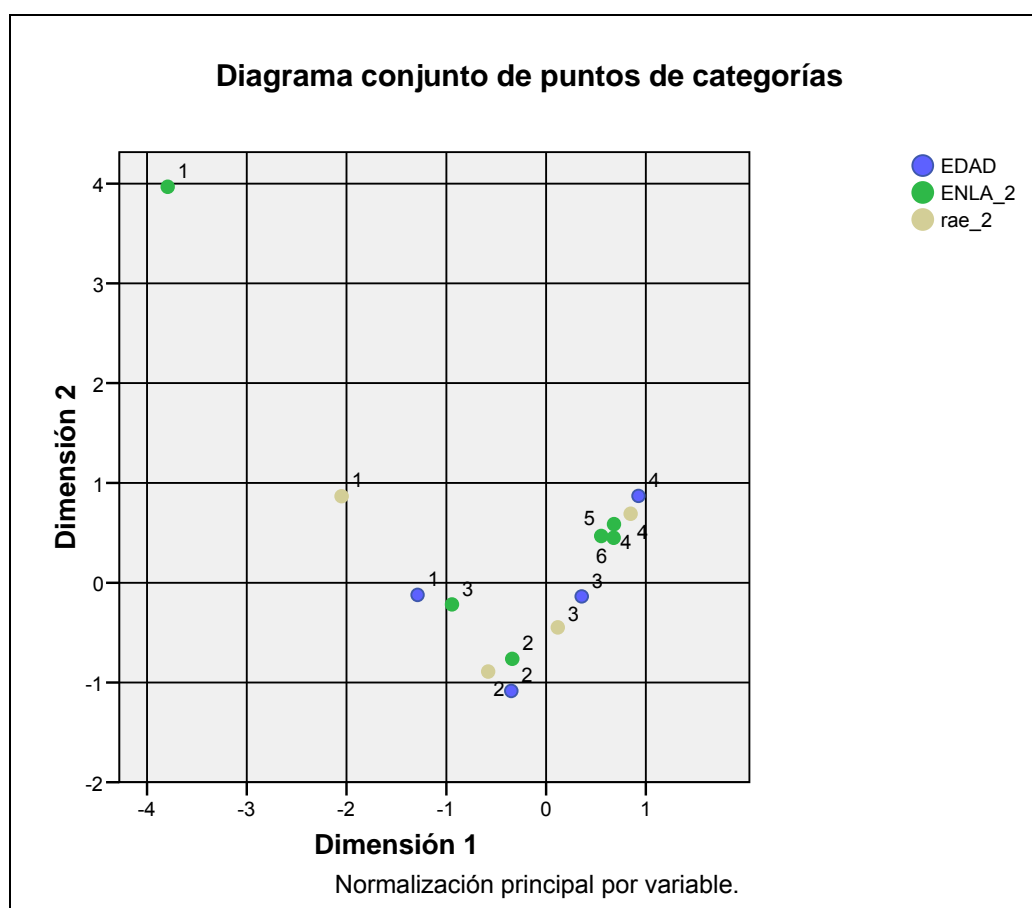


Figura 12. Diagrama de puntos de categorías para las variables ENLA_2, EDAD y RAE_2.

Dada la dispersión tan anómala de esta variable, y, a la vez, su buen comportamiento discriminante, como se ha comprobado en los análisis anteriores, se opta por hacer un ajuste estructural de la misma de modo aproximado. Así, la categoría empírica 1 de ENLA_2 ocupa claramente el espacio más bajo de la gráfica, por lo que pasa a ocupar el puesto primero de las categorías estructurales. Las categorías 2 y 3, si bien están cercanas entre sí, y próximas a la categorías 2 de EDAD y de RAE_2, es posible detectar en ellas una pequeña inversión, lo que puede sugerirnos que la categoría 3 debería quedar en la posición 2 de la

ordenación estructural y la categoría 2 en la posición 3 de las categorías estructurales. Finalmente, las categorías empíricas 4, 5 y 6 de ENLA_2 caen muy cercanas entre sí, lo que sugiere que se agrupen en la posición estructural 4.

Esto nos indica que las categorías estructurales serán cuatro, como se muestra en la tabla 42.

- d) Si se representa la variable ENLA_3, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico que se muestra en la figura 13:

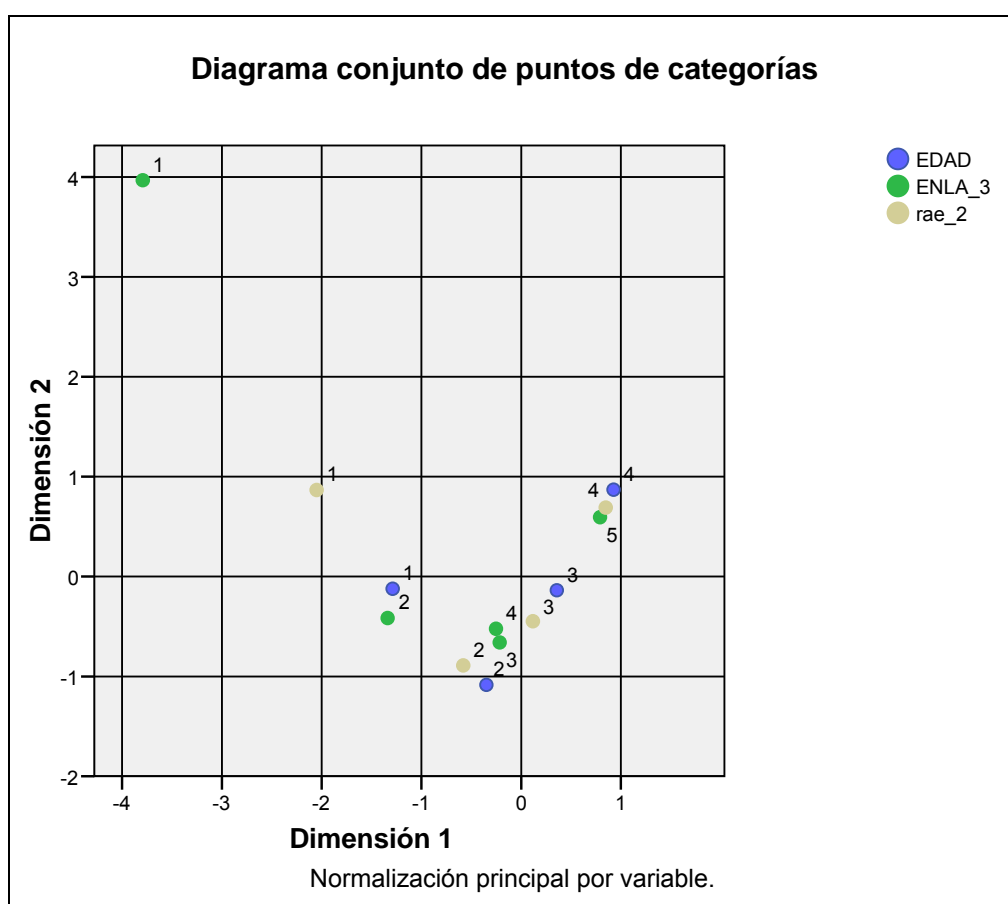


Figura 13. Diagrama de puntos de categorías para las variables ENLA_3, EDAD y RAE_2.

Del gráfico anterior tenemos para la variable ENLA_3 que la categoría empírica 1 ocupa el lugar más bajo de la tabla. La categoría 2 un lugar medio-bajo. Las categorías 3 y 4 de ENLA_3 están muy próximas entre sí y además, próximas a las categorías 3 de EDAD y RAE_2. Por último, la categoría 5 de ENLA_3 ocupa un lugar muy próximo a las categorías empíricas 4 de EDAD y RAE_2. Esto nos permite

proponer cuatro categorías estructurales, como se muestra en la tabla 42, de modo que las nuevas categorías estructurales 1 y 2 coinciden con las empíricas. La nueva categoría estructural 3 está formada por todos los sujetos que en esta variable sacaron 3 y 4 en la clasificación empírica. Por último, la nueva categoría estructural 4 está formada por los que obtuvieron 5 en la categorización empírica.

- e) Si se representa la variable IONES1, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico de la figura 14:

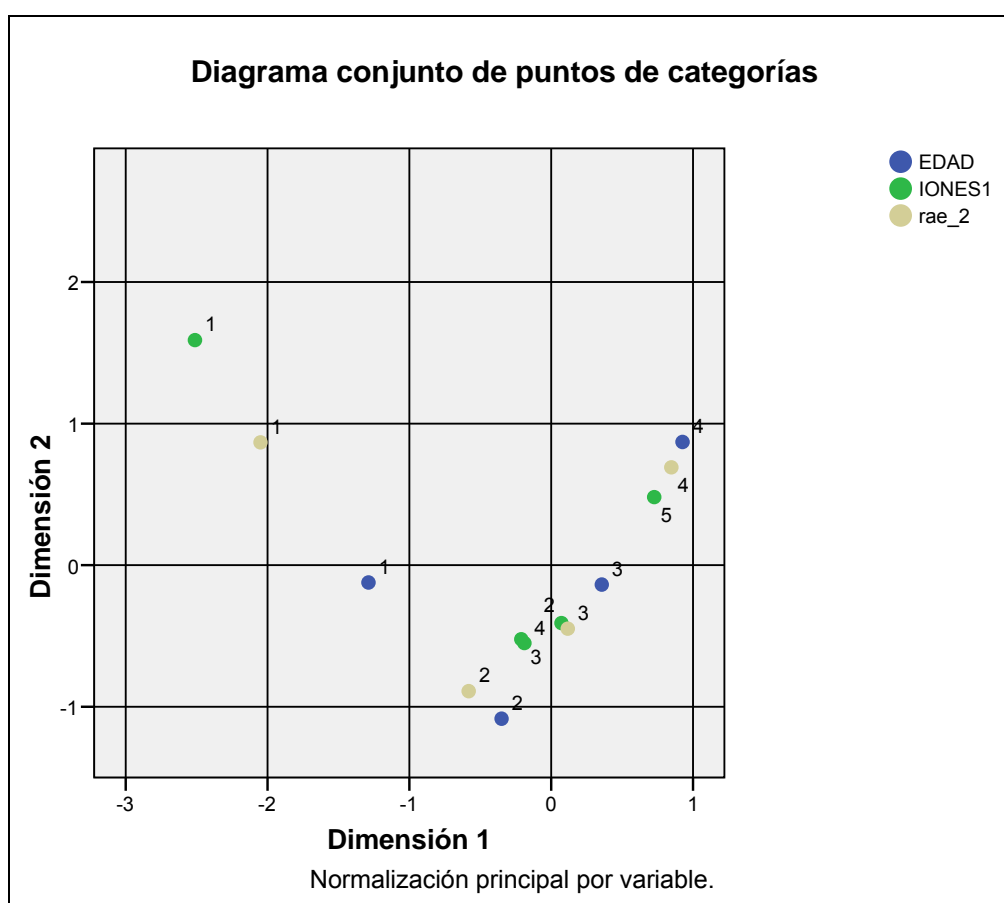


Figura 14. Diagrama de puntos de categorías para las variables IONES1, EDAD y RAE_2.

Del gráfico anterior vemos para la variable IONES1, que las categorías empíricas 1 y 5 están separadas del resto, mientras que la 2, 3 y 4 están próximas. Esto nos sugiere que, las categorías estructurales serán tres como se muestra en la tabla 42.

f) Si se representa la variable MODE_2, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico de la figura 15:

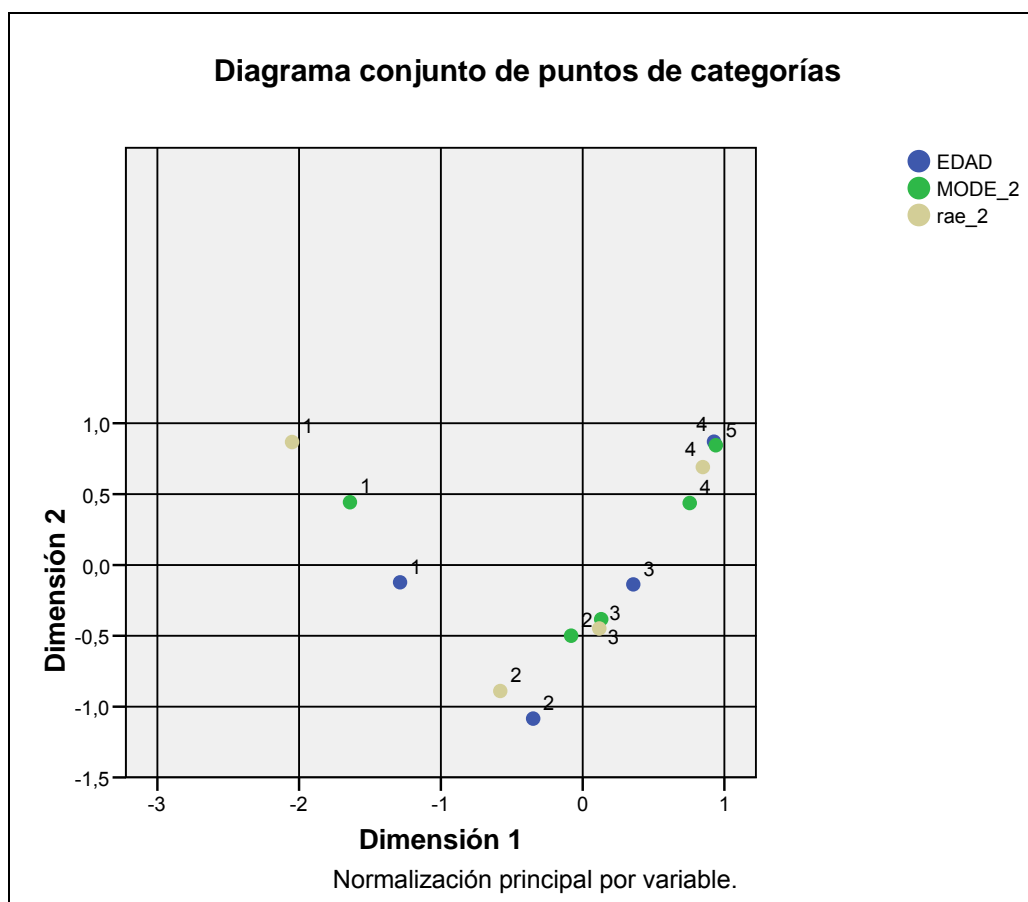


Figura 15. Diagrama de puntos de categorías para las variables, EDAD y RAE_2.

El gráfico anterior muestra que la variable MODE_2 evoluciona de modo paralelo a las variables RAE_2 y EDAD, a lo largo de la dimensión 1, con la única excepción de que las categorías 4 y 5 de esta variable quedan muy cerca de la categoría 4 de EDAD y RAE_2. Por tanto, es posible hacer coincidir sus categorías estructurales con las categorías empíricas, en el caso de las tres primeras, y adjudicar una nueva categoría estructural 4 a las antiguas categorías empíricas 4 y 5. Este resultado se muestra en la tabla 42.

g) Si se representa la variable CAUSA junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico de la figura 16:

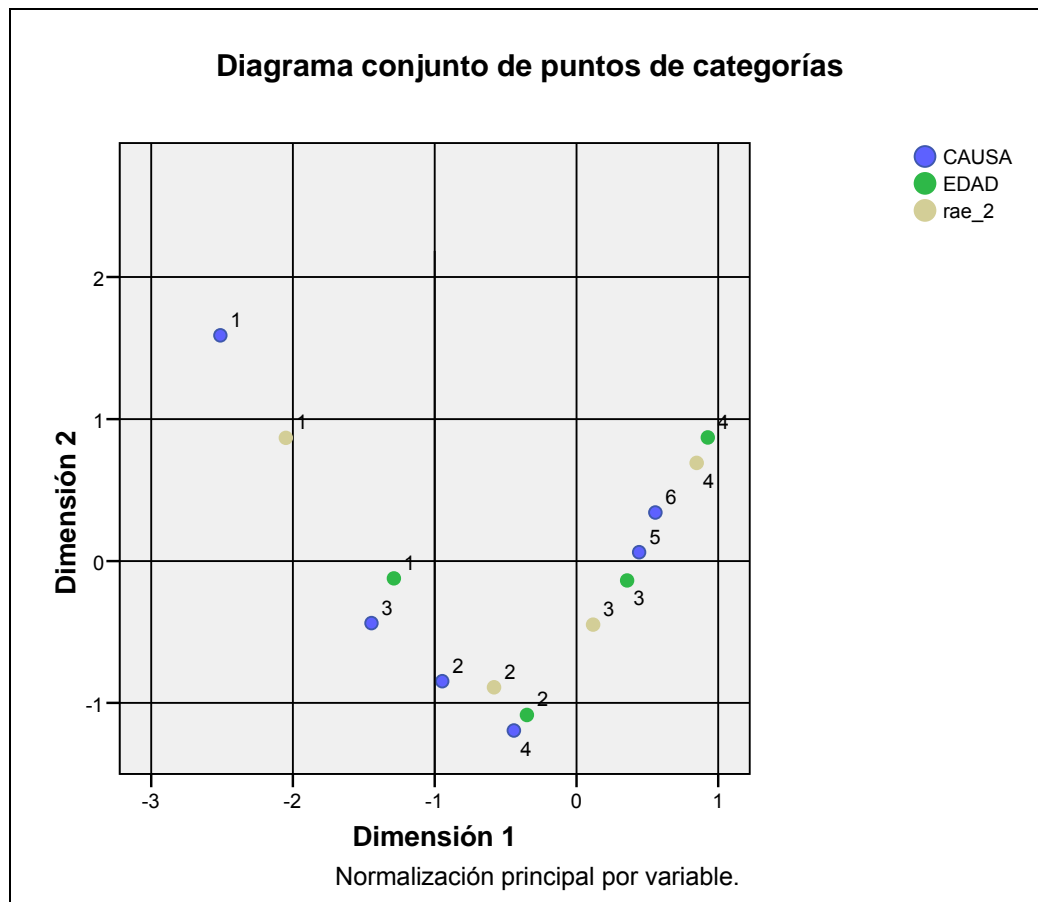


Figura 16. Diagrama de puntos de categorías para las variables CAUSA, EDAD y RAE_2.

Del gráfico anterior advertimos que para la variable CAUSA, la categoría empírica 2 se sitúa entre la 3 y la 4 mostrando una inversión para esta clasificación empírica. De este modo, dado que esta variable mostró una buena discriminación en el análisis de variable, se podría hacer una recategorización consistente en adjudicar la categoría empírica 3 a la nueva categoría estructural 2, la empíricas 2 y 4 a la categoría estructural 3 y las empíricas 5 y 6 a la nueva categoría estructural 4. Las nuevas categorías estructurales serán cuatro tal como se muestra en la tabla 42.

h) Si se representa la variable MODELE junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico presentado en la figura 17:

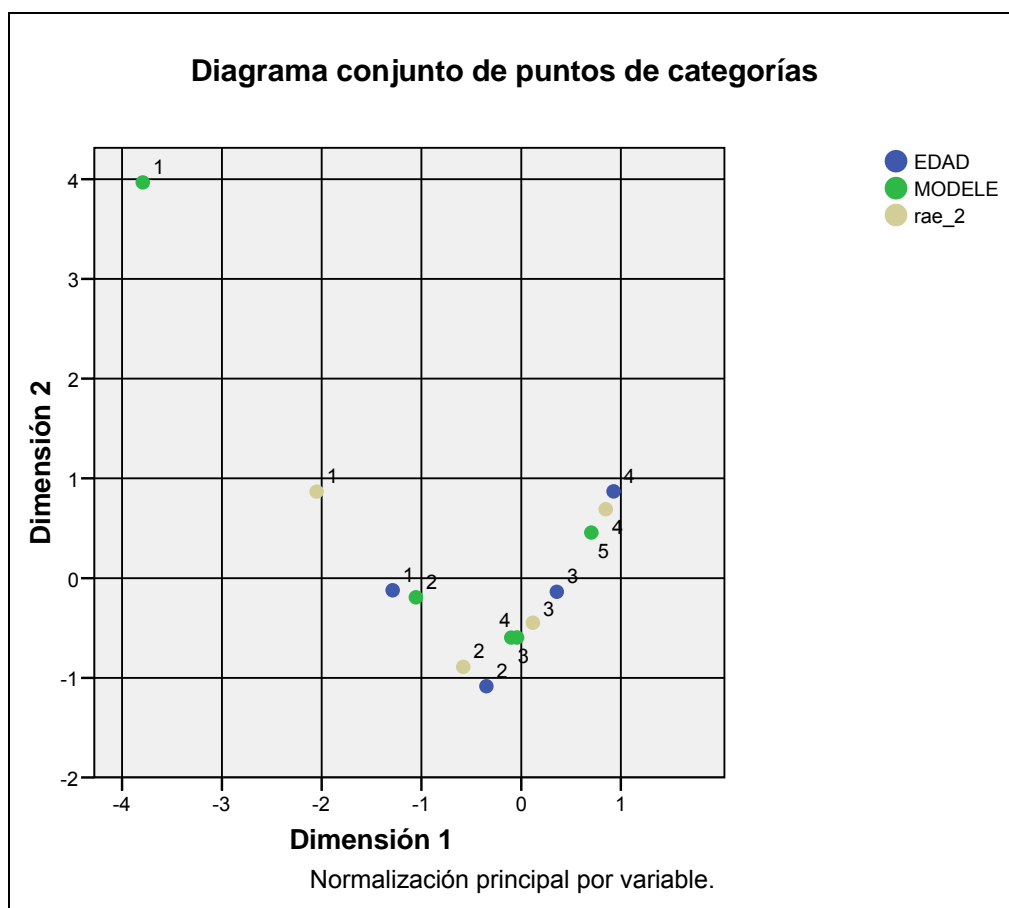


Figura 17. Diagrama de puntos de categorías para las variables MODELE, EDAD y RAE_2.

Del gráfico anterior tenemos para la variable MODELE las categorías empíricas 1, 2 y 5 están separadas del resto mientras que la 3 y 4 están próximas. Esto nos sugiere que las categorías estructurales serán cuatro como se muestra en la tabla 42. Las nuevas categorías estructurales 1, 2 y 4 están formadas por las antiguas categorías empíricas 1, 2 y 5 respectivamente, y la nueva categoría estructural 3 está ocupada con las antiguas 3 y 4.

5.3. Análisis de Correspondencias suplementando las variables menos significativas

De acuerdo a las conclusiones del análisis estadístico de variables (apartado 3.3 del presente capítulo) las variables REAC_1, REAC_2 Y REAC_3 están entre las variables que muestran una buena correlación con la variable RAE. Por tal motivo, resultaría interesante suplementar estas variables, que no han sido utilizadas para

crear el campo de los niveles explicativos en el análisis de correspondencias, para analizar cómo quedan estructuradas en este campo y poder ser utilizadas en la definición de los mismos.

Las gráficas o representaciones de las variables no significativas REAC_1, REAC_2 Y REAC_3 muestran la proyección de las mismas y permiten recategorizarlas en nuevas variables, cuyas categorías se llamarán categorías estructurales ya que vienen definidas por la situación que adquieren las antiguas en el espacio gráfico formado por las dos dimensiones creadas por el ACM. Por ejemplo:

a) Si se representa la variable REAC_1, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico de la figura 18:

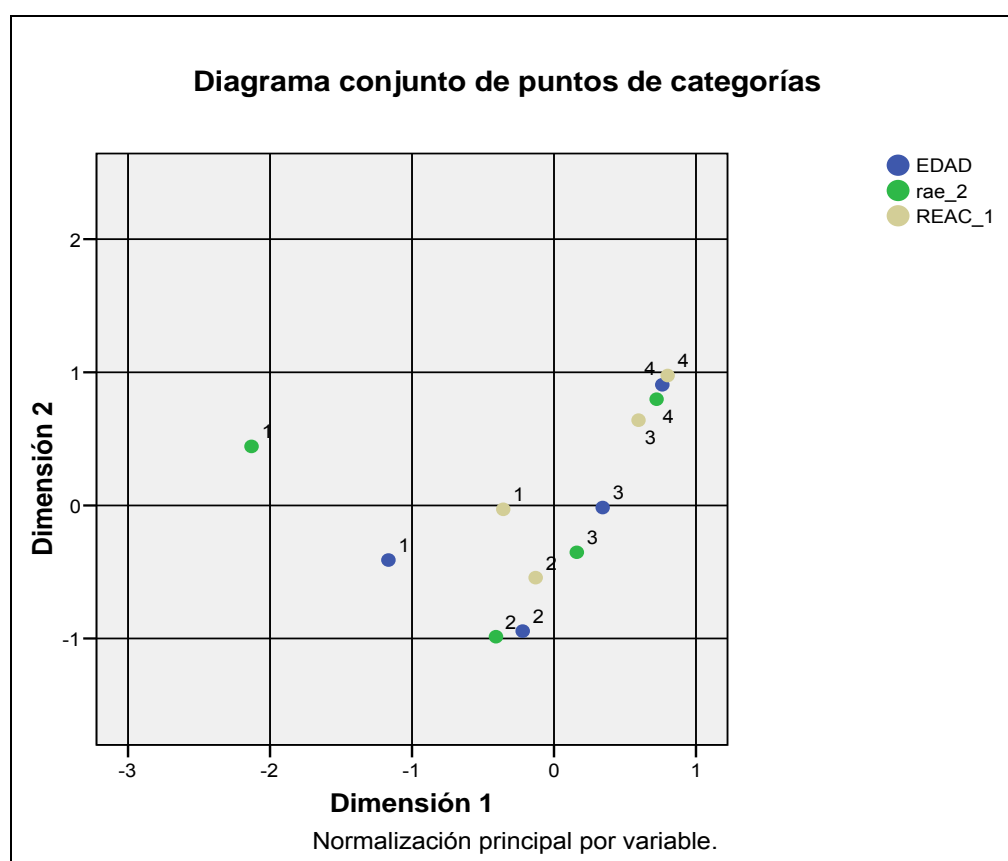


Figura 18. Diagrama de puntos de categorías para las variables REAC_1, EDAD y RAE_2.

En este caso, las categorías empíricas 1 y 2 de REAC_1 están próximas entre sí y cercanas a la categoría 3 de EDAD y 3 de RAE_2. Las categorías 3 y 4 de REAC_1 están próximas a la 4 de RAE_2 y 4 de EDAD.

El producto de esta recategorización se puede observar en la tabla 42. Esto quiere decir que, de cuatro categorías iniciales con que contaba esta variable, finalmente, van a existir 3, pues la número 1 y 2 se unen para formar la nueva categoría estructural 2.

b) Si se representa la variable REAC_2, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico de la figura 19:

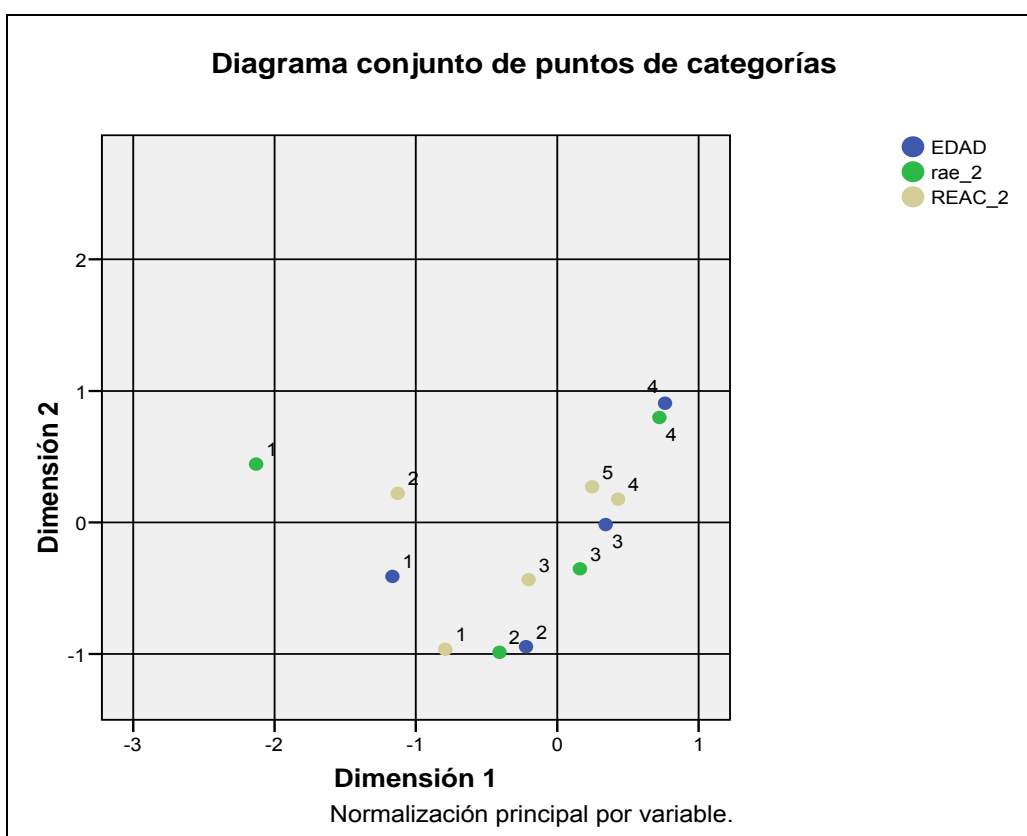


Figura 19. Diagrama de puntos de categorías para las variables REAC_2, EDAD y RAE_2.

Como era de esperar, esta variable es de peor recategorización que las anteriores. No obstante, es posible hacer esta recategorización de modo aproximado, si se admite una inversión para las dos categorías empíricas primeras y la fusión de las dos últimas en la nueva categorías estructural 4.

Esta reorganización se muestra en la tabla 42.

c) Si se representa la variable REAC_3, junto a EDAD y RAE_2, se obtiene el gráfico de la figura 20:

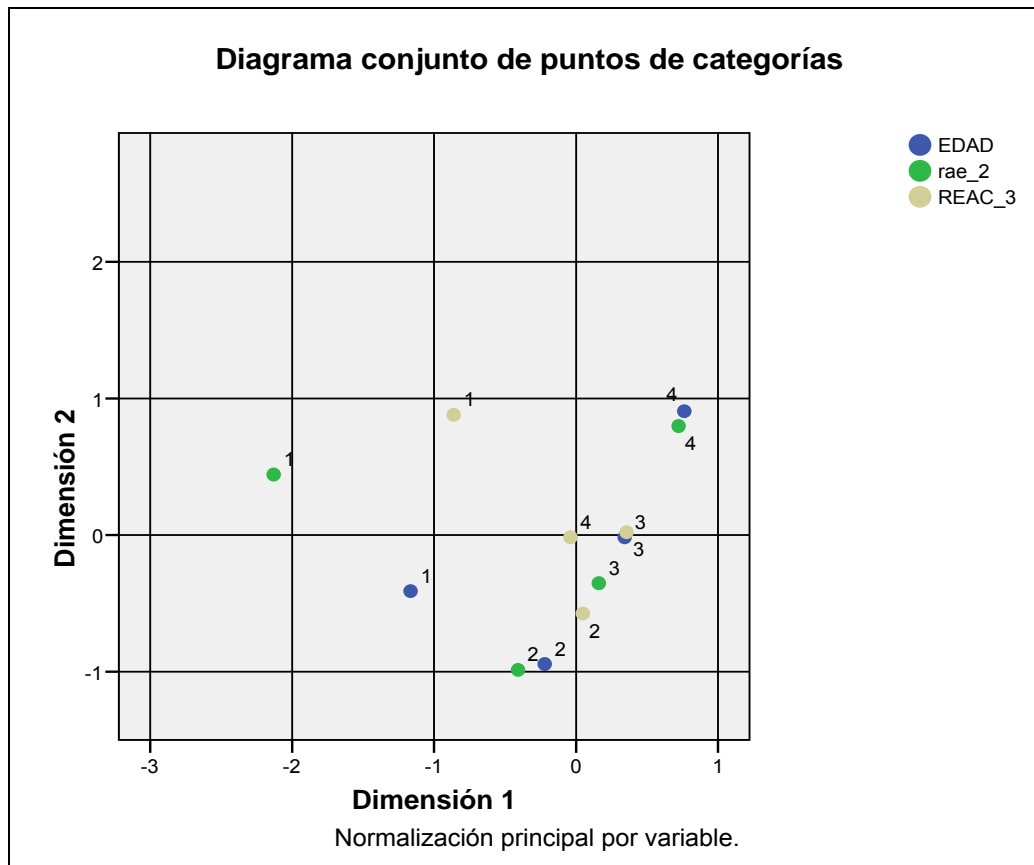


Figura 20. Diagrama de puntos de categorías para las variables REAC_3, EDAD y RAE_2.

En esta variable, como ya se vio con REAC_2, hay que hacer de nuevo una recategorización aproximada, lo que implica fundir las categorías empíricas 3 y 4 en una nueva categoría estructural 3 y dejar la categoría estructural 4 vacía como consecuencia de la escasa discriminación de esta variable. El resultado de esta recategorización se recoge en la tabla 42.

5.4 Construcción de las categorías estructurales

Como se acaba de indicar, la tabla 42 muestra las categorías estructurales elaboradas a partir de las empíricas. En general se observa una buena equivalencia entre la evolución de unas y otras, existiendo tan sólo inversiones puntuales en las

variables MOLECU, ENLA_2 y CAUSA. Así mismo, entre las variables no significativas, REAC_2 también muestra una inversión.

La ausencia de inversiones pone de manifiesto que la primera jerarquización realizada en las categorías empíricas tiene una gran coherencia. Tanto es así, que la mayor parte de las categorías estructurales coinciden, en su definición, con las empíricas.

El contenido asociado a las categorías estructurales deriva del que posee la correspondiente categoría empírica. El resultado de esta transposición se recoge en el anexo 5 y su interpretación resultará de suma importancia en el análisis cualitativo de datos que se realizará en el capítulo siguiente.

VARIABLE	CATEGORÍA ESTRUCTURAL 1	CATEGORÍA ESTRUCTURAL 2	CATEGORÍA ESTRUCTURAL 3	CATEGORÍA ESTRUCTURAL 4
MOLECU	1	3	2, 4	5
ENLA_1	1	2, 3	4, 5	6
ENLA_2	1	3	2	4, 5, 6
ENLA_3	1	2	3, 4	5
IONES1	1		2, 3, 4	5
MODE_2	1	2	3	4, 5
CAUSA	1	3	2, 4	5, 6
MODELE	1	2	3, 4	5
RAE	1	2	3	4
REAC_1		1, 2	3	4
REAC_2	2	1	3	4, 5
REAC_3	1	2	3, 4	

Tabla 42. Reconversión de las categorías empíricas en categorías estructurales.

5.5 Conclusiones del Análisis de Correspondencias Múltiples

En este apartado sintetizaremos los principales resultados del ACM:

- Este análisis pone de manifiesto que las variables más significativas del estudio son las mismas que las establecidas en el análisis de variables realizado en la primera parte de este capítulo, y que éstas son: MOLECU, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, IONES1, MODE_2, CAUSA, MODELE y RAE_2.
- Además, se corrobora la importancia de RAE_2 que discrimina muy bien los grupos o cluster con diferente capacidad cognoscitiva de los alumnos en el área del enlace químico.
- La evolución de los esquemas explicativos de los estudiantes sobre enlaces químicos, queda bien representada por las categorías estructurales de la tabla 42 y que se detallan en el anexo 5.
- La evolución de los esquemas explicativos sobre enlaces químicos, correlaciona bien con la madurez de los estudiantes, medida con las variables EDAD y CURSO.

Capítulo 6

ANÁLISIS CUALITATIVO DE DATOS Y CONCLUSIONES

1. ANÁLISIS EVOLUTIVO DE LAS VARIABLES MÁS SIGNIFICATIVAS

Establecer los niveles explicativos de los estudiantes referidos al enlace químico es uno de los principales objetivos en esta investigación. Llegar a determinar estos niveles implica analizar las respuestas significativas que presentan las regularidades de repetición (reutilización del esquema), generalización (reutilización del esquema en situaciones diferentes) y diferenciación (capacidad de acomodación del esquema a las características de diferentes situaciones).

Por otra parte, las categorías estructurales (presentadas en el **anexo 5**), elaboradas a partir de las categorías empíricas, manifiestan la ausencia de inversiones fuertes, es decir que, la mayor parte de las categorías estructurales, coinciden en su definición, con las empíricas. Esto nos permite considerar que existe una buena correspondencia entre categorías equivalentes de ambas en una gran diversidad de variables. Así mismo, estas variables correlacionan muy bien entre sí, de manera tal que se puede concluir que, ante distintas tareas planteadas referidas al enlace químico, hay un contenido evolutivo común a todas las explicaciones de los estudiantes que proceden de sus esquemas cognitivos sobre situaciones referidas

al enlace químico. En estas condiciones, podemos trazar la **evolución de las concepciones de los estudiantes en el área del enlace químico**, mediante la propuesta de los cuatro niveles siguientes:

- **Nivel 1:** No se distingue entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Estos estudiantes no alcanzan a comprender el enlace químico, en ninguno de sus modelos. Son incapaces de dar explicaciones referidas a la causa del enlace químico y, si lo hacen, utilizan elementos antropológicos y respuestas de compromiso.
- **Nivel 2:** Los estudiantes de este nivel, en un principio no distinguen entre la unión fuerte de los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Alcanzan, con cierta ayuda, a comprender un modelo básico de enlace químico, pero éste nunca llega a ser el modelo electrónico.
- **Nivel 3:** Formado por estudiantes que distinguen, tras la repetición, entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Alcanzan a comprender un modelo básico de enlace químico de bolas y varillas, así como un modelo inicial de enlace químico electrónico.
- **Nivel 4:** Los estudiantes de este nivel distinguen entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Alcanzan a comprender el enlace químico mediante modelos electrónicos.

Ahora bien, esta evolución de los esquemas explicativos, se verá enriquecida con el conocimiento de las adaptaciones de los mismos ante determinadas situaciones físicas relacionadas con el enlace químico. Por lo tanto, con **forma explicativa** hacemos referencia a las adaptaciones del esquema ante una determinada situación física.

A continuación, nos referiremos a la evolución de las formas explicativas referidas a las variables más significativas:

1. Construcción de moléculas según modelo de bolas y varillas a partir de la fórmula molecular.
2. Causa del enlace químico.

3. Explicación del proceso del enlace químico.
4. Indagación en los tipos de enlace químico.
5. Introducción al modelo atómico electrónico.
6. Formación de iones.
7. Causa del enlace químico luego de haber aprendido el modelo atómico electrónico.
8. Explicación del enlace químico en diferentes casos y análisis de las relaciones entre los diferentes modelos representacionales.

1.1 Evolución de las capacidades de construcción de modelos concretos de moléculas a partir de las fórmulas moleculares (Variable MOLECU)

Este primer trazo evolutivo se obtiene de la variable MOLECU. El contenido de esta variable se refiere a la construcción de modelos físicos de bolas y varillas que son capaces de hacer los estudiantes sobre diferentes moléculas partiendo de la fórmula molecular.

En la tabla 43 se recoge la distribución de los estudiantes según sus niveles explicativos en las categorías estructurales definidas para esta variable MOLECU. En ella, se pueden hacer tres lecturas diferentes:

- a) Una primera lectura, ajustada a la realidad de los datos, en la que alumnos de todos los niveles explicativos pueden quedarse en el primer escalón definido para esta variable (véase cómo hay alumnos en todas las celdas distribuidas en la primera fila de la tabla 43). Asimismo, hay alumnos, no de todos los niveles, pero sí de los niveles explicativos 3, 4 y 5 que en la variable MOLECU alcanzan el nivel 3, modelizando bien las moléculas aunque con excepciones. Según esta lectura, el comportamiento de los alumnos en esta variable no es predictor de su nivel explicativo.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. CONCIBEN LA IDEA DE QUE LA FÓRMULA MOLECULAR ES UN REFLEJO DE CÓMO ESTÁN UNIDOS LOS ÁTOMOS.	CAT (11,8) JOS (11,8) JUL (12,1) MAR (12,2)	MIC (11,9) GUA (12,1) GAC (12,2) AGU (12,3) FRA (12,5) CLA (12,7) CIA (12,7) GUI (12,8)	GAB (12,3) INA (12,7) JER (15,4)	PAO (18,2)
2. MODELIZAN LAS MOLÉCULAS RELACIONANDO LA FORMA Y LA ESTRUCTURA CORRECTAMENTE, EN TODOS LOS CASOS.			OLI (15,0) DAN (15,9)	
3. MODELIZAN LAS MOLÉCULAS RELACIONANDO LA FORMA, ESTRUCTURA Y EL NÚMERO DE ENLACES CON ALGUNA/AS EXCEPCIÓN/ES.		PAB (15,5) MAV (15,6)	AGO (15,1) GIM (15,0) REY (12,7) VAR (15,5) KAR (15,0) LUC (15,0)	HER (15,3) RIC (18,0) VIC (15,1) NAN (15,5) ANG (18,9) NIE (15,7) RAC (18,5) MAT (15,6) MAS (18,7) MEL (18,0)
4. MODELIZAN LAS MOLÉCULAS RELACIONANDO LA FORMA, LA ESTRUCTURA Y LOS ENLACES CORRECTAMENTE, EN TODOS LOS CASOS.				BEL (18,2) FAC (18,4) GAL (18,6) FLO (18,9)

Tabla 43. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable MOLECU, según sus niveles explicativos.

b) La segunda lectura, que tiene más interés para nuestros objetivos, que no están relacionados con las diferencias individuales, sino con el trazo o comportamiento general de la construcción del conocimiento en el área, es la que analiza cuáles son las casillas más densas o más ocupadas de la tabla. En este sentido, se observa que hay una tendencia de los estudiantes a ubicarse en la diagonal de la misma. Esto nos permite afirmar que hay una relación entre esta variable MOLECU y los niveles explicativos propuestos.

Desde esta perspectiva, los estudiantes del nivel explicativo 1, modelizan las moléculas utilizando el dictado figurativo de las fórmulas moleculares (nivel 1 de MOLECU). Esto es, construyen las moléculas como si admitieran la idea

de que la fórmula molecular indica el orden en el que están unidos los átomos. Por ejemplo, Gua, manifiesta: *“En el amoniaco pongo el N y después los 3 H seguidos, como dice acá”* (señala la fórmula en el cuestionario) [...] *Lo mismo acá en el dióxido de carbono, el carbono y después los dos oxigenos”* Estos alumnos no le adjudican ninguna importancia a la estructura molecular. Por ejemplo, Gac, en referencia al orden en el que une los átomos, expresa: *“Es sin ninguna razón especial”* y Mar responde: *“No se, lo hice como me parecía.”*

Los estudiantes del nivel explicativo 2 se distribuyen entre las posibilidades 1 y 3 de la variable MOLECU, lo que hace pensar que quizás, por extrapolación, su lugar más adecuado sería la posición 2 de esta variable que ha quedado vacía para estos sujetos, probablemente por no haber sabido definirla adecuadamente.

Los estudiantes del nivel explicativo 3 sí que ocupan mayoritariamente la posición 3 de la variable MOLECU, mostrando la tendencia paralela entre la evolución de esta variable y la de los niveles explicativos.

Por último, los estudiantes del nivel explicativo 4 se distribuyen entre las posiciones 3 y 4 de la variable MOLECU, reafirmando la tendencia paralela a la que aludíamos en el párrafo anterior.

Teniendo en cuenta el contenido de la variable MOLECU y la distribución de los estudiantes recién comentada, las formas explicativas para las capacidades de construcción de modelos concretos de moléculas a partir de las fórmulas moleculares, tiene el siguiente trazo evolutivo:

1. Construyen las moléculas uniendo los átomos en correspondencia con la fórmula molecular: Cat (11,8), Jos (11,8), Jul (12,1), Mar (12,2)
2. Modelizan las moléculas relacionando la forma, la estructura y el número de enlaces **salvo algunas excepciones**: Ago (15,1), Gim (15,0), Rey (12,7), Var (15,5), Kar (15,0), Luc (15,0),
3. Modelizan las moléculas relacionando la forma, la estructura y los enlaces correctamente, **en todos los casos**: Bel (18,2), Fac (18,4), Gal (18,6), Flo (18,9)

Evidentemente, todos los alumnos que no se incluyen son los que se apartan de la linealidad perfecta entre nivel explicativo y la variable

MOLECU. Teniendo en cuenta que constituyen más de las dos terceras partes de la muestra, es plausible concluir, como se dijo desde la lectura anterior, que esta variable no predice por sí sola el nivel explicativo de los alumnos, pero sí que lo puede sugerir.

- c) La tercera lectura se refiere a la edad. Todos los alumnos de 12 años, excepto Rey, ocupan el nivel 1 de la variable MOLECU; todos los de 15 años, con las únicas excepciones de Jer, Oli y Dan, ocupan el nivel 3; y todos los de 18 años, excepto Pao, se distribuyen entre las posiciones 3 y 4 de esta variable. Como se evidencia, es también significativa la correlación de esta variable con la edad de los alumnos, o dicho de otro modo es fácil suponer cómo un alumno escolarizado se va a comportar en esta variable si se conoce su edad.

Combinando las lecturas anteriores, se puede concluir que el comportamiento de un alumno cuando construye modelos de bolas y varillas a partir de las fórmulas moleculares de sustancias conocidas, es predictor aproximado tanto de la edad como de su nivel explicativo. Se puede interpretar este hecho utilizando el siguiente razonamiento: si la edad implica distinto nivel de escolarización, y, por tanto, distinto nivel de conocimiento específico acumulado acerca de las moléculas y de las estructuras moleculares a lo largo del sistema escolar, y si esta variable correlaciona bien con la edad, entonces es que esta variable MOLECU, tal y como está construida, implica una alta dosis de esquemas específicos, de modo que alumnos, tanto de bajo como de alto nivel explicativo pueden llegar a construir la misma molécula, indicando este hecho únicamente que ya la han visto en el sistema escolar. Si, además hay una buena correlación con los niveles explicativos, esto es un indicio de que, en este caso, éstos están fuertemente condicionados por el aprendizaje escolar, que parece conseguir un alto nivel de los esquemas específicos que participan en su construcción.

En conclusión, la variable MOLECU puede predecir, con cierto grado de certeza, el nivel explicativo de un alumno. Además, permite predecir su edad, indicando que está íntimamente correlacionada con el volumen de conocimientos que sobre la estructura de moléculas sencillas se va aprendiendo a lo largo del sistema escolar.

1.2 Evolución de las formas explicativas referidas a la causa del enlace químico (Variable ENLA_1)

Este trazo evolutivo o comportamiento general de la construcción del conocimiento, se obtiene de la variable ENLA_1. El contenido de esta variable se refiere a las explicaciones que brindan los estudiantes sobre la causa del enlace químico, concretamente a la unión entre dos átomos de oxígeno para formar la molécula de oxígeno.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO ALCANZAN A REALIZAR LA ACTIVIDAD.	MAR (12,2)			
2. RESPUESTAS ERRÓNEAS, AUSENTES O QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS.	CAT (11,8) JOS (11,8) JUL (12,1)	GUA (12,1) GAC (12,2) FRA (12,5) CLA (12,7) PAB (15,5)	INA (12,7) OLI (15,0) DAN (15,9)	BEL (18,2)
3. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS O QUE REPRODUCEN LA PREGUNTA.		AGU (12,3) CIA (12,7) GUI (12,8) MIC (11,9) MAV (15,6)	GAB (12,3) REY (12,7) AGO (15,1) KAR (15,0) LUC (15,0) JER (15,4) GIM (15,0)	HER (15,3) NAN (15,5) PAO (18,2) RAC (18,5) MEL (18,0) ANG (18,9)
4. RESPUESTAS MICROSCÓPICAS QUE PONEN DE MANIFIESTO LA IDEA DE ESTABILIDAD.			VAR (15,5)	VIC (15,1) MAT (15,6) NIE (15,7) RIC (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) MAS (18,7) FLO (18,9)

Tabla 44. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable ENLA_1, según sus niveles explicativos.

El análisis de la tabla 44 nos permite realizar las siguientes lecturas o formas de ver los resultados:

- Una primera forma es la que tiene en cuenta todos los resultados de la tabla, sin buscar generalizaciones, En este sentido, llama la atención que, al igual que en la variable MOLECU, en esta variable hay estudiantes de todos

los niveles explicativos que alcanzan la categoría 2 de esta variable, dando respuestas ausentes, erróneas o con elementos antropológicos. Así mismo hay estudiantes de los niveles explicativos 2, 3 y 4 que alcanzan la categoría 3 de esta variable, justificando la causa del enlace entre átomos con respuestas macroscópicas o que reproducen la pregunta. De acuerdo a lo expresado en este apartado, las formas explicativas de los estudiantes en esta variable no pueden predecir su nivel explicativo.

- b) Sin embargo, si se atiende a las casillas más abundantes y/o a la forma general de la tabla, se detecta cierta tendencia a que los alumnos se ubiquen en la diagonal de la tabla, lo que nos permitiría afirmar que hay una relación entre esta variable ENLA_1 y los niveles explicativos propuestos.

Desde este punto de vista, las respuestas de los estudiantes del nivel explicativo 1, caen dentro de las categorías 1 y 2 de la variable ENLA_1. En este sentido, los estudiantes se bloquean en sus respuestas, o dan respuestas que incluyen elementos antropológicos. Así Gac responde: “No sé” y Jos dice: *“Para que no se queden solos y formen sustancias”*.

Los estudiantes del nivel explicativo 2 se distribuyen igualmente entre las categorías 2 y 3 de la variable ENLA_1, es decir que entre sus respuestas están aquellas que son erróneas, ausentes o incluyen elementos antropológicos y aquellas que incluyen elementos macroscópicos o que reproducen la pregunta. Por ejemplo Gui: *“Para formar diferentes materiales, sustancias”*.

Mostrando la tendencia paralela entre la evolución de esta variable y la de los niveles explicativos, los estudiantes del nivel explicativo 3 se disponen mayoritariamente en la categoría 3 de la variable ENLA_1, es decir brindan respuestas macroscópicas o que reproducen la pregunta; por ejemplo, Jer responde: *“Para formar moléculas”*.

Finalmente, los estudiantes del nivel explicativo 4 se distribuyen mayoritariamente en la categoría 4, dando respuestas microscópicas que ponen de manifiesto la idea de estabilidad energética; por ejemplo, Mat: *“Para estabilizarse, completar el octeto electrónico”*. De acuerdo al contenido de la variable ENLA_1 y la distribución de los estudiantes en las diferentes categorías de la misma, las formas explicativas sobre la causa del enlace químico, tienen la siguiente línea evolutiva:

1. No alcanzan a realizar la actividad: Mar (12,2).
2. Respuestas erróneas, ausentes o contienen elementos antropológicos: Gua (12,1), Gac (12,2), Fra (12,5), Cla (12,7), Pab (15,5).
3. Respuestas macroscópicas o que reproducen la pregunta: Gab (12,3), Rey (12,7), Ago (12,3), Kar (15,0), Luc (15,0), Jer (15,4), Gim (15,0).
4. Respuestas microscópicas que ponen de manifiesto la idea de estabilidad: Vic (15,1), Mat (15,6), Nie (15,7), Ric (18,0), Fac (18,4), Gal (18,6), Mas (18,7), Flo (18,9).

Se puede observar que 20 de los 40 alumnos se distribuyen en la diagonal perfecta de la tabla, en la que coincide el nivel explicativo con la categoría alcanzada en esta variable, por lo que se puede afirmar que es buena predictora de los niveles explicativos de los alumnos.

- c) Con respecto a la edad de los estudiantes, vemos que los de 12 años están distribuidos en las categorías 1, 2 y 3 (mayoritariamente en la 2) de la variable ENLA_1, Los estudiantes de 15 años, ocupan las categorías 2, 3 y 4 (mayoritariamente en la 3) y los estudiantes de 18 años, se distribuyen en las categorías 3 y 4 (mayoritariamente en la 4). Esto pone de manifiesto la correlación alta entre las variables ENLA_1 y la EDAD (0,586), pero inferior a la que se manifiesta entre ENLA_1 y los niveles explicativos (0,688) (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5).

Los tres aspectos anteriores nos permiten concluir que las explicaciones que un estudiante brinda respecto a las causas del enlace químico, son buenas pronosticadoras tanto de la edad como de su nivel explicativo.

1.3 Evolución de las formas explicativas referidas al proceso del enlace químico (Variable ENLA_2)

Este trazo evolutivo se obtiene de la variable ENLA_2, la que surge de las explicaciones que brindan los estudiantes acerca cómo tiene lugar el proceso del enlace químico, concretamente cómo se produce la unión entre dos átomos de oxígeno.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO ALCANZAN A REALIZAR LA ACTIVIDAD.	MAR (12,2)			
2. RESPUESTAS QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS.		GUA (12,1)	REY (12,7)	
3. RESPUESTAS ERRÓNEAS O AUSENTES.	CAT (11,8) JOS (11,8)	AGU (12,3) CIA (12,7) GUI (12,8) MIC (11,9) FRA (12,5) GAC (12,2) CLA (12,7) PAB (15,5)	GAB (12,3) INA (12,7) JER (15,4) GIM (15,0) OLI (15,0)	HER (15,3) NAN (15,5)
4. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS Y TAMBIÉN MICROSCÓPICAS QUE INCLUYEN LAS IDEAS DE ENLACES O FUERZAS QUÍMICAS Y EL OCTETO ELECTRÓNICO.	JUL (12,1)	MAV (15,6)	KAR (15,0) LUC (15,0) VAR (15,5) AGO (15,1) DAN (15,9)	VIC (15,1) MAT (15,6) NIE (15,7) RIC (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) MAS (18,7) FLO (18,9) MEL (18,0) PAO (18,2) BEL (18,2) RAC (18,5) ANG (18,9)

Tabla 45. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable ENLA_2, según sus niveles explicativos.

El análisis de la tabla nos permite realizar las siguientes lecturas de los resultados:

- a) La primera lectura está relacionada con los resultados exactos de la tabla 45. En este aspecto, hay estudiantes de todos los niveles explicativos que alcanzan las categorías 3 y 4 de la variable ENLA_2, brindando respuestas erróneas, ausentes, macroscópicas y microscópicas que incluyen las ideas de enlace químico. De acuerdo a lo expresado, estamos ante una variable que discrimina mal los niveles explicativos de los alumnos, y que, por tanto, las formas explicativas de los estudiantes en esta variable, no podrían predecir su nivel explicativo.

- b) La segunda lectura tiene que ver con la detección de las celdas más pobladas de la tabla. En este sentido, podríamos decir que hay una cierta tendencia de los estudiantes a ubicarse en la diagonal de la misma. Esto nos permitiría afirmar que hay una relación entre la variable ENLA_2 y los niveles explicativos.

Desde de esta perspectiva, las explicaciones de los estudiantes del nivel explicativo 1, están distribuidas en las categorías 1, 3 y 4 de la variable, no resultando ninguna de ellas suficientemente mayoritaria.

Las explicaciones de los estudiantes del nivel explicativo 2, se ubican mayoritariamente en la categoría 3.

Las explicaciones de los estudiantes del nivel explicativo 3, se distribuyen mayoritariamente en las categorías 3 y 4.

Finalmente, las explicaciones de los estudiantes del nivel explicativo 4, se ubican mayoritariamente en la categoría 4, es decir aquella que contiene respuestas macroscópicas y también microscópicas que incluyen las ideas de enlaces o fuerzas químicas y el octeto electrónico, por ejemplo Bel: *“Por atracción de electrones, para completar el octeto”*, o Ang: *“Por medio de un enlace químico”*.

Por tanto, el trazo evolutivo de esta variable permite identificar únicamente dos categorías de modo suficientemente significativo. Éstas son:

1. No alcanza a realizar la actividad: Mar (12,1).
2. Respuestas que incluyen elementos antropológicos: Gua (12,1).
3. Respuestas erróneas o ausentes: Gab (12,3), Ina (12,7), Jer (15,4), Gim (15,0) y Oli (15,0)
4. Respuestas macroscópicas y también microscópicas que incluyen las ideas de enlaces o fuerzas químicas y el octeto electrónico: Vic (15,1), Mat (15,6), Nie (15,7), Ric (18,0), Fac (18,4), Gal (18,6), Mas (18,7), Flo (18,9), Mel (18,0), Pao (18,2), Bel (18,2), Rac (18,5), Ang (18,9).

La falta de discriminación de esta variable es la causa de que sea, entre las variables significativas del análisis de correspondencias, una de las peores pronosticadoras de los niveles explicativos de los alumnos.

- c) La tercera lectura está relacionada con las edades de los estudiantes. La mayoría de los estudiantes de 12 años se ubican claramente en la tercera categoría de la variable, es decir que sus respuestas son erróneas o ausentes. Los estudiantes de 15 años se distribuyen entre la categoría 3 y la 4, mientras que la totalidad de los alumnos de 18 años se ubican en la categoría 4 de la variable, dando respuestas microscópicas. Esto pone de manifiesto la mejor correlación de la variable ENLA_2 con la EDAD, que es de 0,674 (ver tabla 28, apartado 3.1 del capítulo 5).

En conclusión, estamos ante otra variable que es buena pronosticadora de la edad y algo menos de su nivel explicativo, pues su capacidad de discriminación, especialmente con los alumnos de los niveles explicativos 1 y 3, es inferior a la de ciertas variables vistas anteriormente, como MOLECU o ENLA_1.

1.4 Evolución de las formas explicativas referidas a la indagación de los tipos de enlace químico (Variable ENLA_3)

Este trazo evolutivo se obtiene de la variable ENLA_3. El contenido de esta variable se refiere a los tipos de enlaces químicos considerados por los estudiantes cuando se unen dos átomos de oxígeno y un átomo de cloro con uno de sodio. Concretamente, los estudiantes deberán responder si los átomos se unen de la misma manera en ambos casos.

En la tabla 46 se pueden hacer tres lecturas de los resultados:

- a) Una primera lectura realizada estrictamente sobre los datos de la tabla 46, muestra que los alumnos de todos los niveles explicativos pueden caer en la categoría 3 de la variable ENLA_3, dando respuestas macroscópicas fundamentadas en los diferentes enlaces y también respuestas microscópicas basadas en la igualdad o no de los átomos constituyentes o en la formación de diferentes moléculas. Según esta primera lectura, las respuestas de los estudiantes en esta variable no son pronosticadoras de su nivel explicativo.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO LLEGAN A REALIZAR LA ACTIVIDAD.	MAR (12,2)			
2. RESPUESTAS AUSENTES O QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS.		GUA (12,1) MIC (11,9)		
3. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS FUNDAMENTADAS EN LOS DIFERENTES ENLACES Y TAMBIÉN RESPUESTAS MICROSCÓPICAS BASADAS EN LA IGUALDAD O NO DE LOS ÁTOMOS CONSTITUYENTES O EN LA FORMACIÓN DE DIFERENTES MOLÉCULAS.	CAT (11,8) JOS (11,8) JUL (12,1)	AGU (12,3) GAC (12,2) CIA (12,7) GUI (12,8) FRA (12,5) CLA (12,7) PAB (15,5)	GAB (12,3) REY (12,7) INA (12,7) VAR (15,5) DAN (15,9) JER (15,4) OLI (15,0) AGO (15,1)	HER (15,3) NAN (15,5) NIE (15,7) MEL (18,0)
4. RESPUESTAS MICROSCÓPICAS CON ARGUMENTOS BASADOS EN LA TEORÍA DE ORBITALES ATÓMICOS.		MAV (15,6)	KAR (15,0) LUC (15,0) GIM (15,0)	VIC (15,1) MAT (15,6) RIC (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) MAS (18,7) FLO (18,9) PAO (18,2) BEL (18,2) RAC (18,5) ANG (18,9)

Tabla 46. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable ENLA_3, según sus niveles explicativos.

- b) La segunda lectura, esta relacionada con el trazo evolutivo en el área y es la que analiza cuáles son las celdas de la tabla más ocupadas. En este caso, se observa que hay una clara tendencia de los estudiantes a ubicarse en la diagonal de la tabla, lo que nos permitiría aseverar que hay una relación entre esta variable ENLA_3 y los niveles explicativos.

Desde esta perspectiva, los estudiantes del nivel explicativo 1, se distribuyen entre las categorías 1 y 3 (mayoritariamente la 3), lo que hace suponer que por extrapolación, tal vez el lugar más adecuado sea el 2.

Los estudiantes del nivel explicativo 2, se disponen entre las categorías 2, 3 y 4, siendo mayoritariamente la categoría 3, es decir que sus respuestas son macroscópicas fundamentadas en los diferentes enlaces y también

respuestas microscópicas basadas en la igualdad o no de los átomos constituyentes o en la formación de diferentes moléculas. Por ejemplo Gac manifiesta que: *“No, porque son sustancias distintas”*; Pab, considera que: *“No es el mismo tipo de unión: el cloro es no metal, el sodio metal, son átomos distintos y los oxígenos son iguales”* y Gui en cambio responde: *“Se unen igual porque son átomos pero dan diferentes cosas”*.

Los estudiantes del nivel explicativo 3, se ubican en las categorías 3 y 4 de la variable, siendo mayoritaria la categoría 3 como los estudiantes del nivel explicativo 2.

Por último, los estudiantes del nivel explicativo 4, se distribuyen entre las categorías 3 y 4, siendo la más poblada, la 4, es decir que sus respuestas son microscópicas con argumentos basados en la teoría de orbitales atómicos.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, las formas explicativas referidas a la indagación de los tipos de enlace químico, tiene el siguiente trazo evolutivo:

1. No llegan a realizar la actividad: Mar (12,2).
2. Respuestas ausentes o que incluyen elementos antropológicos: Gua (12,1); Mic (11,9)
3. Respuestas macroscópicas que conciben distintos tipos de enlaces y también respuestas microscópicas basadas en la igualdad o no de los átomos constituyentes o en la formación de diferentes moléculas: Gab (12,3), Rey (12,7), Ina (12,7), Jer (15,4), Oli (15,0), Ago (15,1), Var (15,5), Dan (15,9).
4. Respuestas microscópicas con argumentos basados en la teoría de orbitales atómicos: Vic (15,1), Mat (15,6), Ric (18,0), Fac (18,4), Gal (18,6), Mas (18,7), Flo (18,9), Pao (18,2), Bel (18,2), Rac (18,5), Ang (18,9).

Como resultado, aunque hayamos diferenciado cuatro formas explicativas en el trazo evolutivo, la primera y la segunda agrupa a muy pocos alumnos, mientras que alumnos de todos los niveles y especialmente de los niveles 2 y 3, quedan dentro de la tercera. Esto hace que sea una variable que no discrimina bien entre alumnos de niveles intermedios.

- c) La tercera lectura que se puede hacer de estos resultados, está referida a la edad; así los estudiantes de 12 años, se distribuyen entre las categorías 1, 2 y 3 de la variable ENLA_3, siendo mayoritaria la categoría 3, mientras que los de 15 años, ocupan las categorías 3 y 4 de la variable (preferentemente la categoría 3); por último, los estudiantes de 18 años se ubican en amplia mayoría en la categoría 4. Esto hace evidente la alta correlación (0,649) entre la variable ENLA_3 y la edad de los estudiantes como así también entre ENLA_3 y RAE (0,644) (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5).

Por tanto, los alumnos de 12 y 15 años ocupan mayoritariamente la categoría 3 de esta variable, lo que viene a confirmar su falta de discriminación entre alumnos edades intermedias.

1.5 Evolución de las capacidades para interpretar y relacionar símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo, para determinados elementos químicos (Variable MODELE)

Este trazo evolutivo se obtiene de la variable MODELE, la que surge de las interpretaciones y relaciones que establecen los estudiantes para los elementos químicos de los tres primeros periodos. Estas interpretaciones y relaciones están referidas al símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo.

El análisis de la tabla 47, nos permite realizar las siguientes lecturas de los resultados:

- a) La primera lectura está relacionada con los resultados exactos de la tabla. En la misma, podemos ver que hay alumnos de los niveles explicativos 2, 3 y 4 que alcanzan la tercera categoría de la variable MODELE. Estos estudiantes intentan interpretar y relacionar, sin ayuda, los diferentes parámetros. De acuerdo con esta lectura, las capacidades de los estudiantes en esta variable podrían ser débiles predictoras de su nivel explicativo.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO ALCANZAN A REALIZAR LA TAREA.	MAR (12,2)			
2. NECESITAN AYUDA DURANTE TODA LA ACTIVIDAD, PUES NO PUEDEN LLEGAR AL FINAL SIN ELLA.	CAT (11,8) JOS (11,8) JUL (12,1)	GUA (12,1) MAV (15,6)	JER (15,4)	
3. INTENTAN REALIZAR LA TAREA SOLOS.		AGU (12,3) CIA (12,7) MIC (11,9) GUI (12,8) FRA (12,5) GAC (12,2) CLA (12,7) PAB (15,5)	GAB (12,3) OLI (15,0) AGO (15,1) DAN (15,9) LUC (15,0) KAR (15,0)	NIE (15,7) MAT (15,6) MAS (18,7)
4. DESDE EL PRINCIPIO MUESTRAN GRAN DESTREZA EN LA REALIZACIÓN DE LA TAREA.			REY (12,7) INA (12,7) GIM (15,0) VAR (15,5)	VIC (15,1) HER (15,3) NAN (15,5) MEL (18,0) RIC (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) FLO (18,9) PAO (18,2) BEL (18,2) RAC (18,5) ANG (18,9)

Tabla 47. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable MODELE, según sus niveles explicativos.

b) La segunda lectura, de mayor interés para nuestros objetivos, está relacionada con las capacidades de los estudiantes en el estudio del modelo atómico electrónico. En este sentido, se observa una tendencia de los estudiantes a ubicarse en la diagonal de la tabla, lo que nos permitiría afirmar que hay una relación entre esta variable MODELE y los niveles explicativos propuestos.

Desde esta perspectiva, los estudiantes del nivel explicativo 1, se distribuyen en las categorías 1 y 2 (con predominio de esta última) de la variable MODELE, es decir que, no realizan la tarea, o bien, la realizan pero con ayuda continua hasta el final, pues de otra manera no pueden realizarla.

Los estudiantes del nivel explicativo 2, se ubican en las categorías 2 y 3 de MODELE, con preferencia en la 3, es decir, que la mayoría de ellos, intenta realizar la tarea solo, sin reclamar ayuda.

Por otro lado, los estudiantes del nivel explicativo 3, se ubican en las categorías 2, 3 y 4 de MODELE, siendo mayor la concentración en la categoría 3. Estos estudiantes se caracterizan por intentar realizar solos la tarea, sin ayuda, es decir que empiezan con ayuda y continúan sin ella, salvo de manera puntual que le hace reaccionar y corregir. Por ejemplo, Dan, en la representación de Lewis para algunos elementos, dibuja todos los electrones; sin embargo, cuando se le advierte del error, lo corrige adecuadamente. Otros estudiantes, en cambio empiezan con ayuda pero rápidamente se hacen con la tarea y continúan solos, tal es el caso de Gui que al comenzar la tarea manifiesta: “¿Me explicas uno entero y yo sigo?”.

Finalmente, los estudiantes del nivel explicativo 4, se ubican en las categorías 3 y 4 de MODELE, siendo la categoría 4 la más concentrada. Estos estudiantes desde el principio de la tarea demuestran destreza en la realización de la misma.

Teniendo en cuenta la explicación de la distribución de los estudiantes, las formas explicativas para las capacidades de interpretación y relación referidas al símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo, tiene el siguiente trazo evolutivo:

1. No alcanzan a realizar la tarea: Mar (12,2).
2. Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no puede llegar al final sin ella. Gua (12,1), Mav (15,6).
3. Intentan realizar la tarea solo: Gab (12,3), Oli (15,0), Ago (15,1), Dan (15,9), Luc (15,0), Kar (15,0).
4. Desde el principio muestran gran destreza en la realización de la tarea. Vic (15,1), Her (15,3), Nan (15,5), Mel (18,0), Ric (18,0), Fac (18,4), Gal (18,6), Flo (18,9), Pao (18,2), Bel (18,2), Rac (18,5), Ang (18,9).

Teniendo en cuenta que los estudiantes incluidos en los trazos evolutivos constituyen un poco más de la mitad de la muestra, podemos concluir que esta variable es buena predictora del nivel explicativo.

c) La tercera lectura está referida a la edad. Los estudiantes de 12 años están distribuidos en todas las categorías, siendo la más poblada la categoría 3. Los estudiantes de 15 años, se distribuyen en las categorías 2, 3 y 4, siendo la más poblada la categoría 3, como en los estudiantes de 12 años. Por último, los estudiantes de 18 años, se ubican en la categoría 4, con la excepción de Mas que se encuentra en la categoría 3. Esto se pone de manifiesto en la alta correlación de MODELE con la edad (0,602), pero inferior a la que se manifiesta entre MODELE y los niveles explicativos (0,738) (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5). Esto nos permite predecir cómo se va a comportar un alumno en esta variable, si conocemos el nivel explicativo al que pertenece. Por otro lado, la variable sólo nos puede sugerir con cierto grado de certeza la edad de los alumnos.

Las lecturas anteriores nos permiten concluir que las capacidades que tienen los estudiantes para interpretar y relacionar el símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo, para determinados elementos químicos son mejores pronosticadoras de los niveles explicativos que de la edad. Es decir, los niveles explicativos involucran diferentes tipos de conocimiento, algunos de los cuales están más relacionados con la edad y con el conocimiento escolar, y otros que no lo están tanto. De hecho, alumnos de 12 años que nunca han visto este contenido, son capaces de alcanzar a realizar por sí mismos la actividad, aplicando reglas de razonamiento en cierto modo desligadas del conocimiento específico.

La variable correlaciona bien con la edad y suponemos que ésta con el conocimiento escolar. La variable correlaciona mejor con el nivel explicativo, luego en la síntesis de estos últimos, hay una parte que es conocimiento escolar y otra que no lo es. En el modelo de Marín (1994), es razonamiento, conocimiento operativo, que puede actuar, tras unas cuantas indicaciones iniciales, casi de modo autónomo, pues esta tarea se puede llegar a hacer con muy poco conocimiento específico, como si se tratara de un juego de ir llenando orbitales.

1.6 Evolución de las capacidades para deducir la configuración electrónica de diferentes elementos cuando ganan o pierden electrones a partir de representaciones atómicas (Variable IONES1)

Este trazo evolutivo se obtiene de la variable IONES1, la que surge de las explicaciones que brindan los estudiantes acerca de la configuración electrónica de átomos cuando ganan o pierden electrones.

La tabla 48 nos permite hacer las siguientes tres lecturas de los resultados:

- a) La primera lectura nos indica que hay estudiantes de todos los niveles explicativos que se ubican en la categoría 3 de la variable IONES1, es decir que intentan deducir por sí solos las configuraciones electrónicas de los elementos cuando ganan o pierden electrones. Además hay estudiantes de los niveles explicativos 2, 3 y 4 que se ubican en la categoría 4 de la variable, es decir que realizan la tarea sin ayuda. Desde este punto de vista, el comportamiento de los alumnos en esta variable no es buena predictora de su nivel explicativo.
- b) La segunda lectura, que tiene más interés para nuestros objetivos, está relacionada con el comportamiento general de la construcción del conocimiento o el trazo evolutivo en el área, para ello analizamos cuáles son las celdas más densas o más pobladas de la tabla. En este sentido, se observa una tendencia de los estudiantes a situarse en la diagonal de la tabla, lo que nos permitiría afirmar que hay una relación entre esta variable IONES1 y los niveles explicativos propuestos.

Desde esta perspectiva, los estudiantes del nivel explicativo 1, realizan la tarea conforme las categorías 1 y 3, es decir que algunos no llegan a realizar la tarea, y la mayoría intenta realizarla solo. De estos últimos alumnos, algunos necesitan ayuda durante toda la actividad, pues de otra manera, no pueden llegar al final de la misma, otros empiezan la tarea con ayuda y continúan sin ella, salvo de manera puntual que le hace reaccionar y corregir y otros empiezan con ayuda pero rápidamente continúan solos.

Los estudiantes del nivel explicativo 2, están distribuidos en las categorías 1, 3 y 4, siendo la más poblada la categoría 3, es decir aquella que incluye a los estudiantes que intentan realizar la tarea por sí solos.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO LLEGAN A REALIZAR LA TAREA.	MAR (12,2) JUL (12,1)	GUA (12,1)		
3. INTENTAN REALIZAR LA TAREA SOLO.	CAT (11,8) JOS (11,8)	AGU (12,3) MIC (11,9) GUI (12,8) FRA (12,5) GAC (12,2) CLA (12,7) PAB (15,5) MAV (15,6)	GAB (12,3) REY (12,7) INA (12,7) LUC (15,0) KAR (15,0) AGO (15,1) JER (15,4) VAR (15,5) DAN (15,9)	MAT (15,6) MAS (18,7) MEL (18,0) BEL (18,2)
4. REALIZAN LA TAREA SIN AYUDA.		CIA (12,7)	GIM (15,0) OLI (15,0)	VIC (15,1) HER (15,3) NAN (15,5) NIE (15,7) RIC (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) FLO (18,9) PAO (18,2) RAC (18,5) ANG (18,9)

Tabla 48. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable IONES1, según sus niveles explicativos.

Los estudiantes del nivel explicativo 3, se ordenan en las categorías 3 y 4, siendo la categoría 3 la más poblada, como en el caso de los alumnos del nivel explicativo 2.

Finalmente, los estudiantes del nivel explicativo 4, se ordenan igual que los estudiantes del nivel explicativo 3, es decir en las categorías 3 y 4, siendo esta última la más poblada, es decir aquella en la que los alumnos realizan la tarea sin ayuda, mostrando desde el principio gran destreza.

Conforme al contenido de la variable IONES1 y la distribución de los estudiantes en las diferentes categorías de la misma, la evolución de las capacidades para deducir la configuración electrónica de diferentes elementos cuando ganan o pierden electrones a partir de representaciones atómicas, tienen la siguiente línea evolutiva.

1. No llega a realizar la tarea: Mar (12,2), Jul (12,1).

2. Intentan realizar la tarea solo: Gab (12,3), Rey (12,7), Ina (12,7), Luc (15,0), Kar (15,0), Ago (15,1), Jer (15,4), Var (15,5), Dan (15,9).
3. Realizan la tarea sin ayuda: Vic (15,1), Her (15,3), Nan (15,5), Nie (15,7), Ric (18,0), Fac (18,4), Gal (18,6), Flo (18,9), Pao (18,2), Rac (18,5), Ang (18,9)

Se puede observar que los 22 de los 40 alumnos se distribuyen en la diagonal de a tabla, en la que coinciden el nivel explicativo con la categoría alcanzada de la variable, por lo que se puede afirmar que es buena predictora de los niveles explicativos.

- c) En cuanto a la edad de los estudiantes, vemos que los de 12 años, se ordenan en las categorías 1, 3 y 4, aunque la más poblada es la categoría 3 de la variable IONES1. Los estudiantes de 15 años, se distribuyen en las categorías 3 y 4, siendo la más poblada la categoría 3. Finalmente, los estudiantes de 18 años, se ubican en las categorías 3 y 4, siendo esta última, la 4, la más poblada. Lo expresado pone de manifiesto la correlación entre las variables IONES1 y la edad (0,469) inferior a la correlación entre IONES1 y los niveles explicativos (0,618) (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5).

Las lecturas anteriores nos permiten concluir que las capacidades que tienen los estudiantes para deducir la configuración electrónica de diferentes elementos cuando ganan o pierden electrones a partir de representaciones atómicas son mejores pronosticadoras de los niveles explicativos que de la edad. Si suponemos que esta última es buena indicadora del conocimiento específico, de nuevo, estamos ante una variable que puede ser resuelta con dosis de conocimiento específico y de conocimiento operacional.

1.7 Evolución de las explicaciones de los estudiantes acerca de la causa del enlace químico luego de haber aprendido el modelo atómico electrónico (Variable CAUSA)

Este trazo evolutivo se obtiene de la variable CAUSA. El contenido de esta variable se refiere a las explicaciones que brindan los estudiantes acerca de porqué se unen los átomos para formar moléculas.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO ALCANZAN A REALIZAR LA TAREA.	MAR (12,2) JUL (12,1)	GUA (12,1)		
2. RESPUESTAS QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS.	JOS (11,8)			
3. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS, ERRÓNEAS O AUSENTES.	CAT (11,8)	MIC (11,9) GUI (12,8) GAC (12,2) CLA (12,7) CIA (12,7) PAB (15,5)	INA (12,7)	
4. RESPUESTAS CORRECTAS ASOCIADAS A UNA ESTABILIDAD ENERGÉTICA O A UNA REGLA NEMOTÉCNICA.		AGU (12,3) FRA (12,5) MAV (15,6)	GAB (12,3) REY (12,7) LUC (15,0) GIM (15,0) OLI (15,0) KAR (15,0) AGO (15,1) JER (15,4) VAR (15,5) DAN (15,9)	VIC (15,1) HER (15,3) NAN (15,5) MAT (15,6) NIE (15,7) MEL (18,0) RIC (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) FLO (18,9) PAO (18,2) RAC (18,5) ANG (18,9) BEL (18,2) MAS (18,7)

Tabla 49. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable CAUSA, según sus niveles explicativos.

De los resultados expuestos en la tabla 49, se pueden hacer tres lecturas:

- a) La primera lectura está relacionada con el hecho de que alumnos de los niveles explicativos 2, 3 y 4, dan explicaciones que corresponden a la categoría 4 de la variable CAUSA, es decir que sus respuestas son correctas y están asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica. Desde este punto de vista, podríamos decir que las formas explicativas de los estudiantes en esta variable no predicen bien su nivel explicativo.
- b) La segunda lectura tiene que ver con la distribución más abundante de los estudiantes en las celdas de la tabla. En este caso, se observa que la

tendencia más poblada no coincide exactamente con la diagonal principal, sino que hay un desplazamiento hacia la izquierda de la misma. Así, observamos que:

Los alumnos del nivel explicativo 1, caen dentro de las categorías 1, 2 y 3 de la variable, predominantemente en la categoría 1, es decir que los alumnos no alcanzan a realizar la tarea.

Las explicaciones de los estudiantes del nivel explicativo 2, se distribuyen entre las categorías 1, 3 y 4, siendo mayormente la 3 la más poblada, es decir que los estudiantes brindan respuestas macroscópicas, erróneas o ausentes, por ejemplo: Mic responde diciendo: “No sé”, y Cia responde: *“para formar sustancias”*.

Por otro lado, las respuestas de los estudiantes del nivel explicativo 3, caen en las categorías 3 y 4, siendo esta última la más poblada. Las explicaciones de estos estudiantes son respuestas correctas asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica, por ejemplo Pao: *“Porque quieren tener ocho electrones”*. Finalmente, todos los estudiantes del nivel explicativo 4 dan explicaciones que corresponden a la categoría 4 (como los estudiantes del nivel explicativo 3). Estas respuestas son correctas desde la visión de la ciencia escolar, y están asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica, por ejemplo Ang: *“para llegar a 8 electrones en la ultima orbita”*.

Por tanto, estamos ante una variable que, tal y como ha quedado definida, resulta de escasa exigencia, de modo que los alumnos de un determinado nivel explicativo no caen dentro de la categoría correspondiente de la variable, sino en categorías superiores de la misma (alumnos del nivel 2 caen dentro de la categoría 3; y alumnos del nivel 3 caen dentro de la categoría 4). Al ser de baja exigencia, no discrimina bien entre los alumnos de los niveles explicativos superiores, niveles 3 y 4, pues todos ellos se quedan en la categoría 4, sin que esta variable sea capaz de diferenciarlos.

Dadas estas características y la circunstancia de que la categoría 2 está casi vacía (concretamente, hay en ella un solo alumno), pensamos que es posible que esté mal construida. Concretamente, es posible que hubiera sido conveniente no haber definido la categoría segunda y que hubiéramos

sido capaces de crear categorías más elevadas, que distinguieran las respuestas de los alumnos más avanzados.

Eliminando la categoría 2, la evolución de las formas explicativas sería la siguiente:

1. No alcanza a realizar la tarea: Mar (12,2), Jul (12,1).
2. Respuestas macroscópicas, erróneas o ausentes: Mic (11,9); Gui (12,8); Gac (12,2); Cla (12,7); Cia (12,7); Pab (15,5)
3. Respuestas correctas asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica: Gab (12,3), Rey (12,7), Rey (12,7), Luc (15,0), Gim (15,0), Oli (15,0), Kar (15,0), Ago (15,1), Jer (15,4), Var (15,5), Dan (15,9). Vic (15,1), Her (15,3), Nan (15,5), Mat (15,6), Nie (15,7), Mel (18,0), Ric (18,0), Fac (18,4), Gal (18,6), Flo (18,9), Pao (18,2), Rac (18,5), Ang (18,9), Bel (18,2), Mas (18,7).

Por tanto, aunque la variable es significativa, es importante destacar que no discrimina bien entre los alumnos más avanzados (concretamente, entre los niveles 3 y 4).

- c) La tercera lectura está referida a la edad de los estudiantes, así vemos que los de 12 años se distribuyen en todas las categorías de la variable CAUSA, siendo la más poblada la 3, es decir que los estudiantes dan respuestas macroscópicas, erróneas o ausentes, como por ejemplo Gac responde: *“Para formar sustancias”*. Los estudiantes de 15 años ocupan casi sin excepción la categoría 4, es decir que sus respuestas son correctas, asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica, como por ejemplo, Jer: *“Para parecerse a los gases nobles porque estos son estables”*, Oli: *“Para llegar a 8 electrones en la última órbita”*. Asimismo, los estudiantes de 18 años se sitúan totalmente en la categoría 4, dando respuestas correctas, asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica, como los estudiantes de 15 años. De nuevo, vemos que la variable CAUSA no discrimina bien entre los alumnos de más edad (concretamente, entre los de 15 y 18 años).

De las lecturas anteriores podemos concluir que las explicaciones de los estudiantes acerca de la causa del enlace químico luego de haber aprendido el modelo atómico electrónico, son buenas pronosticadoras tanto de los niveles

explicativos como de la edad. Sin embargo, como acabamos de comprobar, discrimina mejor entre los alumnos de menor nivel y edad que entre los alumnos más avanzados.

Por otra parte, si comparamos los resultados obtenidos para la variable ENLA_1, que se refiere a las explicaciones que dan los estudiantes sobre la causa del enlace químico, y para la variable CAUSA, que se refiere a las explicaciones de los estudiantes acerca de la causa del enlace químico después de haber aprendido el modelo atómico electrónico, podemos apreciar ciertas diferencias. Estas diferencias están relacionadas con la distribución de los estudiantes según el nivel explicativo y las categorías para cada una de estas variables. De esta manera, los estudiantes del nivel explicativo 3 dan respuestas de carácter macroscópico en la variable ENLA_1, tal es el caso de Jer que dice que los átomos se unen *“para formar moléculas”*, mientras que los estudiantes del mismo nivel explicativo, pero en la variable CAUSA, dan respuestas correctas asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica, como por ejemplo Pao que considera que los átomos se unen *“Porque quieren tener ocho electrones”*. Dado que los estudiantes del nivel explicativo 3 (constituido fundamentalmente por estudiantes de 15 años) que ya han estudiado el modelo atómico electrónico y están aprendiendo enlaces químicos, cabría esperar que sus respuestas no se modifiquen en una y otra variable. Sin embargo, la falta de coherencia de las respuestas dadas por los estudiantes frente a la misma pregunta pero en contextos diferentes, se podría interpretar confirmando la hipótesis de otros investigadores (Driver, 1988, citado en Riboldi y otros, 2004) de que las ideas alternativas se activan o no según el contexto en el que el sujeto razone (Riboldi y otros, 2004) o también como una consecuencia del proceso de aprendizaje seguido (proceso de microenseñanza favorecido por el mismo desarrollo de la entrevista).

1.8 Evolución de las capacidades para explicar el enlace químico en diferentes casos y analizar las relaciones entre los diferentes modelos representacionales: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas. (Variable MODE_2)

Este trazo evolutivo se obtiene de la variable MODE_2. El contenido de esta variable se refiere a las capacidades de los estudiantes para explicar el enlace

químico en diferentes casos y analizar las relaciones entre los diferentes modelos representacionales: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas.

El análisis de la tabla 50 nos permite realizar las siguientes lecturas o formas de ver los resultados:

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO ALCANZAN A REALIZAR LA ACTIVIDAD O LLEGAN MUY AGOTADOS.	MAR (12,2) JUL (12,1) JOS (11,8)	GUA (12,1) GUI (12,8)	DAN (15,9)	
2. NECESITAN AYUDA DURANTE TODA LA ACTIVIDAD, PUES NO PUEDEN LLEGAR AL FINAL SIN ELLA.	CAT (11,8)	MIC (11,9) GAC (12,2) CIA (12,7) AGU (12,3) FRA (12,5) PAB (15,5) MAV (15,6)	LUC (15,0) KAR (15,0) VAR (15,5)	VIC (15,1) BEL (18,2)
3. EMPIEZAN CON AYUDA Y CONTINÚAN SIN ELLA, SALVO DE MODO PUNTUAL QUE LES HACE REACCIONAR Y CORREGIR.		CLA (12,7)	INA (12,7) GAB (12,3) REY (12,7) OLI (15,0) JER (15,4)	HER (15,3) MEL (18,0) PAO (18,2) MAS (18,7)
4. REALIZAN LA TAREA SIN AYUDA.			GIM (15,0) AGO (15,1)	NAN (15,5) MAT (15,6) NIE (15,7) RIC (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) FLO (18,9) RAC (18,5) ANG (18,9)

Tabla 50. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable MODE_2, según sus niveles explicativos.

- a) Una primera lectura, ajustada a la realidad de los datos, nos indica que estudiantes de todos los niveles explicativos pueden quedarse en la segunda categoría de la variable, es decir que necesitan ayuda durante toda la actividad, pues de lo contrario, no pueden llegar al final sin ella. Así mismo, hay alumnos de los niveles explicativos 2, 3 y 4 que alcanzan la tercera categoría de la variable, es decir que empiezan con ayuda y continúan sin ella, salvo de modo puntual que les hace reaccionar y corregir.

Según esta lectura, el comportamiento de los estudiantes en esta variable no puede ser predictor de su nivel explicativo.

- b) La segunda lectura, está relacionada con el comportamiento general de la construcción del conocimiento en el área, y es la que examina cuáles son las celdas más ocupadas de la tabla. En este aspecto, se observa una clara tendencia de los estudiantes a ubicarse en la diagonal de la tabla. Esto, como en las variables anteriores, nos permitiría afirmar que hay una relación entre esta variable y los niveles explicativos propuestos.

En este sentido, los estudiantes del nivel explicativo 1, se distribuyen en las categorías 1 y 2, aunque mayoritariamente en la 1, es decir que son estudiantes que no alcanzan a realizar la tarea o llegan muy agotados.

Los estudiantes del nivel explicativo 2, se ordenan en las categorías 1, 2 y 3, siendo la 2, la más ocupada, es decir que cuenta con estudiantes que necesitan ayuda durante toda la tarea, pues no pueden llegar al final sin ella.

Siguiendo con la tendencia paralela entre la evolución de esta variable y los niveles explicativos, los estudiantes del nivel explicativo 3, se distribuyen en todas las categorías, siendo la más poblada la 3, es decir que se trata de estudiantes que comienzan la tarea con ayuda y continúan sin ella, salvo de modo puntual que les hace reaccionar y corregir.

Por último, los estudiantes del nivel explicativo 4, se ubican en la categoría 4, es decir que realizan la tarea sin ayuda.

Considerando el contenido de la variable MODE_2 y la distribución de los estudiantes recién comentada, las formas explicativas para las capacidades de los estudiantes para explicar el enlace químico en diferentes casos y analizar las relaciones entre los diferentes modelos representacionales, tiene el siguiente trazo evolutivo:

1. No alcanza a realizar la actividad o llega muy agotado: Mar (12,2), Jul (12,1), Jos (11,8).
2. Necesita ayuda durante toda la actividad, pues no puede llegar al final sin ella: Mic (11,9), Gac (12,2), Cia (12,7), Agu (12,3), Fra (12,5), Pab (15,5), Mav (15,6).

3. Empieza con ayuda y continúa sin ella, salvo de modo puntual que le hace reaccionar y corregir: Ina (12,7), Gab (12,3), Rey (12,7), Oli (15,0), Jer (15,4).
4. Realiza la tarea sin ayuda: Nan (15,5), Mat (15,6), Nie (15,7), Ric (18,0), Fac (18,4), Gal (18,6), Flo (18,9), Rac (18,5), Ang (18,9).

Se puede observar que no solo 24 alumnos quedan dentro de este trazo evolutivo, sino que además son realmente los que ocupan las casillas más pobladas de la tabla de distribución, lo que explica la alta correlación encontrada en esta variable con RAE. Esto es, estamos ante una de las mejores variables del estudio para discriminar alumnos por su nivel explicativo.

- c) La tercera lectura está relacionada con la edad de los estudiantes. De esta manera, los de 12 años, se ubican en las categorías 1, 2 y 3 de la variable, siendo la más poblada la 2, es decir que se trata de estudiantes que necesitan ayuda durante toda la tarea, porque no pueden llegar al final sin ella. Los estudiantes de 15 años, se ubican en las 4 categorías, siendo la más ocupada la categoría 2, como en los estudiantes de 12 años. Por último, los de 18 años, se distribuyen entre las categorías 2, 3 y 4, siendo esta última la más poblada, es decir que se trata de estudiantes que realizan la tarea sin ayuda. Es necesario destacar que la correlación de esta variable con la edad es de 0,621, menor a la correlación de la variable con los niveles explicativos, 0,803 (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5). Dicho de otro modo, es más fácil conocer el nivel explicativo que la edad de un alumno escolarizado si se conoce el comportamiento del estudiante ante esta variable.

De las lecturas anteriores, podemos concluir que las capacidades de los estudiantes para explicar el enlace químico en diferentes casos y analizar las relaciones entre los diferentes modelos representacionales son mejores pronosticadoras del nivel explicativo que de la edad. Este hecho se puede interpretar considerando que los niveles explicativos involucran distintos niveles de conocimiento (específico y operacional) y que el contenido de esta variable supera al conocimiento específico que puede adquirirse en el proceso de escolarización.

2. ANÁLISIS EVOLUTIVO DE LAS VARIABLES NO SIGNIFICATIVAS

En este apartado se aborda el análisis cualitativo de las variables no significativas REAC_1, REAC_2 y REAC_3. De acuerdo con el análisis estadístico de variables, las dos primeras mostraron tener buenas correlaciones con las variables RAE y EDAD, y no así la tercera. Con este análisis pretendemos conocer cómo evolucionan estas variables en relación a las variables significativas analizadas en el apartado anterior.

2.1 Evolución de la utilidad relativa de los modelos concretos de bolas y varillas frente a las fórmulas químicas (Variable REAC_1)

El contenido de esta variable, REAC_1, se refiere al significado que otorgan los estudiantes a las estructuras moleculares y macromoleculares frente a las fórmulas químicas cuando se produce una reacción química. Concretamente, se analiza si eligen explicar una reacción química a partir de los modelos de bolas y varillas, que previamente han construido, o si prefieren utilizar fórmulas químicas, ajustar la reacción y posteriormente, usar los modelos concretos.

El análisis de los resultados expuestos en la tabla 51, nos permite realizar las siguientes lecturas:

- a) Una primera lectura nos revela que estudiantes de todos los niveles explicativos responden de acuerdo a la categoría 2 de la variable REAC_1, es decir que construyen los modelos de bolas y varillas de las sustancias que intervienen en las reacciones y posteriormente tratan de escribir sus fórmulas químicas, intentando demostrar la relación entre ambas representaciones. Así mismo, estudiantes del nivel explicativo 4 alcanzan las 3 categorías de la variable. De acuerdo a esta lectura, el comportamiento de los estudiantes en esta variable no puede ser predictor de su nivel explicativo.
- b) La segunda lectura, tiene que ver con el comportamiento general de la construcción del conocimiento en el área que nos compete y, es la que

analiza cuáles son las celdas más pobladas de la tabla. En este aspecto, no se observa una tendencia de los estudiantes a ubicarse en la diagonal de la tabla, lo que nos permitiría afirmar que no hay una relación entre esta variable REAC_1 y los niveles explicativos propuestos.

Desde esta perspectiva, los estudiantes de los tres primeros niveles explicativos se ubican en la categoría 2 de REAC_1, es decir que construyen los modelos de bolas y varillas de las sustancias que intervienen en las reacciones y posteriormente tratan de escribir sus fórmulas químicas, intentando demostrar la relación entre ambas representaciones. Por ejemplo Jos, en la reacción entre el hidrogeno y el cloro, escribe el producto como: “ HCl_2 ”, no obstante, presenta el modelo de bolas y varillas que representa a las 2 moléculas de HCl. Cla, escribe la ecuación de formación del amoniaco:

$3 H + 2 N \longrightarrow NH_3$ y explica: “Tengo 3 átomos de hidrógeno más 2 de nitrógeno”.

Sin embargo, los estudiantes del nivel explicativo 4 se distribuyen en las categorías 2, 3 y 4 de REAC_1, siendo la categoría 3 la más poblada, es decir que los estudiantes escriben las ecuaciones químicas, las ajustan, y, a continuación, arman los modelos de bolas y varillas mostrando que éstos les ayudan a comprender mejor las ecuaciones. Como se puede apreciar, estamos ante una variable que no discrimina bien entre alumnos de los niveles explicativos 1, 2 y 3.

- c) La tercera lectura se refiere a la edad. Todos los estudiantes de 12 años, ocupan la segunda categoría de la variable REAC_1; los de 15 años, en su mayoría también ocupan la segunda categoría y un par de ellos, la tercera; por último, los de 18 años, ocupan en su mayoría la tercera categoría y unos pocos, las categorías 2 y 4. En síntesis, la variable REAC_1 no discrimina entre alumnos de 12 y 15 años.

Combinando ambas lecturas, podemos concluir que estamos ante una variable que correlaciona mejor con la edad (0,641) que con los niveles explicativos (0,579); de esta manera es más fácil suponer cómo se va a comportar un estudiante en esta variable si se conoce su edad que si se conoce su nivel explicativo. Es plausible suponer que tal y como se ha definido la variable, el comportamiento de un alumno en ella queda fuertemente determinado por su conocimiento específico relacionado con las reacciones y fórmulas químicas.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
2. CONSTRUYEN LOS MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS DE LAS SUSTANCIAS QUE INTERVIENEN EN LAS REACCIONES Y POSTERIORMENTE TRATAN DE ESCRIBIR SUS FÓRMULAS QUÍMICAS, INTENTANDO DEMOSTRAR LA RELACIÓN ENTRE AMBAS REPRESENTACIONES.	CAT (11,8) JOS (11,8) JUL (12,1) MAR (12,2)	MIC (11,9) GUA (12,1) GAC (12,2) AGU (12,3) FRA (12,5) CLA (12,7) CIA (12,7) GUI (12,8) PAB (15,5) MAV (15,6)	GAB (12,3) INA (12,7) REY (12,7) JER (15,4) GIM (15,0) OLI (15,0) LUC (15,0) KAR (15,0) AGO (15,1) VAR (15,5)	VIC (15,1) HER (15,3) NAN (15,5) MAT (15,6) RIC (18,0)
3. ESCRIBEN LAS ECUACIONES QUÍMICAS, LAS AJUSTAN Y, A CONTINUACIÓN, ARMAN LOS MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS MOSTRANDO QUE ESTOS LES AYUDAN A COMPRENDER MEJOR LAS ECUACIONES.			DAN (15,9)	NIE (15,7) PAO (18,2) ANG (18,9) BEL (18,2) FAC (18,4) GAL (18,6) MEL (18,0)
4. ESCRIBEN LAS ECUACIONES QUÍMICAS, LAS AJUSTAN Y, A CONTINUACIÓN, ARMAN LOS MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS SIN DEMOSTRAR QUE ESTOS LE APORTEN MÁS CONOCIMIENTO DEL QUE YA TIENEN.				RAC (18,5) MAS (18,7) FLO (18,9)

Tabla 51. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable REAC_1, según sus niveles explicativos.

2.2 Evolución de las interpretaciones de una reacción química mediante construcciones moleculares de bolas y varillas (Variable REAC_2)

El contenido de esta variable, REAC_2, se refiere a las interpretaciones que hacen los estudiantes de las reacciones químicas mediante los modelos de bolas y varillas.

El análisis de los resultados de la tabla 52, nos permite realizar las siguientes lecturas:

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NO HAN COMPRENDIDO EL SIGNIFICADO DE MOLÉCULA COMO UNIDAD IDENTIFICATORIA DE CADA SUSTANCIA Y PROPONEN OTRAS UNIDADES ARBITRARIAS.	MAR (12,2)	GAC (12,2) PAB (15,5)	VAR (15,5)	
2. INTRODUCEN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS EN EL PROCESO Y CONSTRUYEN PRODUCTOS SIN COMPRENDER EL SIGNIFICADO DE MOLÉCULA.	JOS (11,8)	FRA (12,5)		
3. SOLO AL PRINCIPIO DE LA ACTIVIDAD NO COMPRENDIERON EL SIGNIFICADO DE MOLÉCULA COMO UNIDAD IDENTIFICATORIA DE CADA SUSTANCIA, PERO REACCIONAN Y RECTIFICAN.	CAT (11,8) JUL (12,1)	AGU (12,3) CLA (12,7) CIA (12,7)	REY (12,7) OLI (15,0) JER (15,4)	ANG (18,9) PAO (18,2)
4. DESDE EL PRINCIPIO MUESTRAN BUENA COMPRENSIÓN DEL SIGNIFICADO DE MOLÉCULA COMO UNIDAD IDENTIFICATORIA DE CADA SUSTANCIA Y TRATAN DE COMPRENDER EL SIGNIFICADO ESTRUCTURAL Y EL DE MACROMOLÉCULA.		MIC (11,9) GUA (12,1) GUI (12,8) MAV (15,6)	GAB (12,3) KAR (15,0) INA (12,7) AGO (15,1) LUC (15,0) GIM (15,0) DAN (15,9)	BEL (18,2) RAC (18,5) MAS (18,7) MEL (18,0) FAC (18,4) GAL (18,6) FLO (18,9) RIC (18,0) NAN (15,5) HER (15,3) VIC (15,1) NIE (15,7) MAT (15,6)

Tabla 52. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable REAC_2, según sus niveles explicativos.

- a) La primera lectura nos indica que los estudiantes de todos los niveles explicativos se ubican en la categoría 3 de la variable REAC_2, y estudiantes de los niveles explicativos 2, 3 y 4, hacen lo propio en la categoría 4. De esta manera, el comportamiento de los estudiantes en esta variable no puede ser pronosticador de su nivel explicativo.
- b) La segunda lectura, está relacionada con el comportamiento general de la construcción del conocimiento en el área y es la que tiene más interés para

nuestros objetivos. En este sentido, se observa únicamente una tendencia ligera de los estudiantes a situarse en la diagonal principal de la tabla, lo que nos permitiría afirmar que hay una relación débil entre esta variable y los niveles explicativos propuestos.

Desde esta perspectiva, los estudiantes del nivel explicativo 1, se ubican en las categorías 1, 2 y 3; los estudiantes del nivel explicativo 2, se distribuyen entre las cuatro categorías (mayoritariamente en las categorías 3 y 4). Por ejemplo Jos después de formar la primera molécula de agua, se le pregunta cómo hacer para formar otra molécula de agua a partir de ese átomo de oxígeno, y responde luego de pensar: *“No sé... yo creo que ésta (señala la molécula de agua) se iba haciendo más chiquita y se iba separando este oxígeno... pero no, no es así... no sé...”*

Los estudiantes del nivel explicativo 3, se sitúan en las categorías 1, 3 y 4 (mayoritariamente en la categoría 4). Por ejemplo, Ago en la reacción del grafito con el oxígeno para formar dióxido de carbono, expresa que *“el CO₂ está formado por un átomo de carbono y 2 de oxígeno, pero es que no entiendo si es la molécula entera o el átomo”* refiriéndose a si se trata de todo el grafito o a un átomo el que reacciona; Sin embargo cuando la entrevistadora le pregunta cuántos C tiene según la fórmula, ella dice: *“O sea es un átomo.”*

Finalmente, los estudiantes del nivel explicativo 4, se ubican en las categorías 3 y 4, siendo la 4 la más poblada. Por ejemplo, Ric en la reacción del cobre con el oxígeno manifiesta: *“son muchos átomos de cobre... lo único que vamos a saber es cuanto reacciona de oxígeno con el cobre, pero no sabemos cuál es la cantidad de cobre ¿es así? Porque sólo va a reaccionar una parte de todo el cobre porque lo limita el oxígeno.”*

- c) La tercera lectura está relacionada con la edad. Así podemos observar que los estudiantes de 12 años, se distribuyen en las cuatro categorías (predominantemente en la categoría 3 y 4); los de 15, lo hacen en las categorías 1, 3 y 4 (mayoritariamente en la 4); mientras que los de 18, lo hacen en las categorías 3 y 4, siendo mayoritaria esta última.

De acuerdo a las lecturas anteriores, podemos concluir que la variable REAC_2 no discrimina bien entre los niveles explicativos, como así tampoco entre los estudiantes de las diferentes edades. Esto explica su carácter no

significativo en el intento de determinar los niveles explicativos de los alumnos ante el enlace químico.

2.3 EVOLUCIÓN DE LAS INTERPRETACIONES DE UNA REACCIÓN QUÍMICA MEDIANTE CONSTRUCCIONES MOLECULARES DE BOLAS Y VARILLAS_2 (VARIABLE REAC_3)

El contenido de esta variable, REAC_3, se refiere a las interpretaciones que hacen los estudiantes de las reacciones químicas mediante las relaciones entre el lenguaje formal con el lenguaje gráfico utilizado para representar los modelos de bolas y varillas.

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	NIVEL EXPLICATIVO			
	1	2	3	4
1. NECESITA AYUDA DURANTE TODA LA ACTIVIDAD, PUES NO PUEDE LLEGAR AL FINAL SIN ELLA.	MAR (12,2)		JER (15,4) KAR (15,0)	VIC (15,1)
2. EMPIEZA CON AYUDA Y CONTINÚA SIN ELLA, SALVO DE MODO PUNTUAL QUE LE HACE REACCIONAR O CORREGIR.		AGU (12,3) GAC (12,2) MIC (11,9) MAV (15,6)	LUC (15,0)	MAS (18,7)
3. INTENTAN REALIZAR LA TAREA SIN AYUDA O, DESDE EL PRINCIPIO, MUESTRA GRAN DESTREZA EN LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD.	CAT (11,8) JOS (11,8) JUL (12,1)	GUA (12,1) GUI (12,8) CLA (12,7) CIA (12,7) FRA (12,5) PAB (15,5)	GAB (12,3) REY (12,7) INA (12,7) OLI (15,0) GIM (15,0) DAN (15,9) AGO (15,1) VAR (15,5)	HER (15,3) NAN (15,5) MAT (15,6) NIE (15,7) BEL (18,2) ANG (18,9) PAO (18,2) GAL (18,6) FAC (18,4) MEL (18,0) RIC (18,0) RAC (18,5) FLO (18,9)

Tabla 53. Distribución de los estudiantes en las categorías estructurales de la variable REAC_3, según sus niveles explicativos.

El análisis de los resultados de la tabla 53, nos permite realizar las siguientes lecturas:

- a) La primera lectura nos indica que, estudiantes de todos los niveles explicativos se ubican en la categoría 2 de esta variable, es decir que son estudiantes que realizan la tarea solos, aunque algunos de ellos necesiten una ayuda inicial. Asimismo, estudiantes de los niveles explicativos 2, 3 y 4 se ubican en la categoría 3 de esta variable, es decir que se trata de estudiantes que intentan realizar la tarea sin ayuda, aunque no terminan lográndolo. Desde esta perspectiva, el comportamiento de los estudiantes en esta variable, no puede ser pronosticadora de su nivel explicativo.
- b) La segunda lectura, está relacionada con el comportamiento general de los estudiantes en la construcción del conocimiento; en este sentido, la distribución de los estudiantes en la tabla, nos muestra una distribución heterogénea, con una tendencia muy liviana a ubicarse en la diagonal principal. Esto nos permitiría confirmar la lectura anterior al observar que no hay una relación entre esta variable REAC_3 y los niveles explicativos propuestos.
- c) La tercera lectura, está relacionada con la edad de los estudiantes. Así, tanto los estudiantes de 12, como los de 15 y los de 18 años, se sitúan mayoritariamente en la categoría 2 de la variable REAC_3. La baja correlación entre la variable REAC_3 y la edad (0,012) confirma esta afirmación.

De las lecturas anteriores, podemos concluir que estamos ante una variable no significativa para identificar los niveles explicativos de los alumnos sobre enlaces químicos.

Del análisis de las variables REAC_1, REAC_2 y REAC_3, podemos concluir que, a diferencia de las variables significativas, analizadas en el párrafo anterior, estas variables no guardan la condición de que la diagonal principal sea la más poblada, lo que nos indica que no hay una relación entre la variable y el nivel explicativo y, por lo tanto, no nos pueden ser útiles para definir estos niveles. Aunque esta afirmación es cierta para las tres variables, es especialmente correcta para REAC_3, algo menos para REAC_2 y algo menos aún para REAC_1, que se muestra como la más significativa de las tres.

En consecuencia, en estas variables no significativas no es posible delimitar los trazos evolutivos porque no guardan la condición de que la diagonal sea la zona más poblada.

2.4 EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES AIRE_A Y AIRE_B

Ante todo, hay que recordar que la variable AIRE_A trata de categorizar las respuestas gráficas de los alumnos al representar microscópicamente al aire de modo espontáneo (esto es, al principio de la entrevista, sin que aún se haya comenzado el proceso de microenseñanza). Por el contrario, la variable AIRE_B intenta categorizar las respuestas gráficas de los alumnos referidas a las representaciones microscópicas del aire, al finalizar el proceso de microenseñanza, es decir, al finalizar la entrevista.

Como resultado más destacable, merece la pena subrayar que, en general, se observa un comportamiento de la muestra ante el contenido que implica la variable AIRE_A tanto mejor cuanto mayor es el nivel explicativo de los alumnos. De hecho, la correlación de esta variable con RAE es de 0,597, significativa al 99% de confianza, indicando esta alta relación entre ambas tendencias. Asimismo, esta alta correlación se mantiene e incluso se incrementa ligeramente tras el proceso de microenseñanza, como se pone de manifiesto en el valor de 0,611 del coeficiente de correlación entre AIRE_B y RAE (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5).

Si nos preguntamos por el impacto de la entrevista en la capacidad de representar gráficamente al aire, debemos acudir a calcular las diferencias de las medias entre AIRE_A y AIRE_B. En las tablas 54 y 55, siguientes, se presentan estos resultados:

Estadísticos de muestras relacionadas

	Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 AIRE_A	3,43	40	1,217	,192
AIRE_B	3,98	40	1,349	,213

Tabla 54. Diferencias entre medias de AIRE_A y AIRE_B.

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	99% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 AIRE_A - AIRE_B	-,550	1,154	,182	-1,044	-,056	-3,015	39	,004

Tabla 55. Prueba de muestras relacionadas para las variables AIRE_A y AIRE_B.

En las tablas anteriores, se observa que la media de los resultados de AIRE_B es ligera pero significativamente mejor que la media de los resultados de AIRE_A (al 99% de confianza). Por tanto, el proceso de instrucción que hay implícito en la entrevista ayuda a los alumnos a mejorar su capacidad de representación gráfica del aire.

En la tabla 56 se muestran los resultados de AIRE_A con AIRE_B, indicándose entre paréntesis el nivel explicativo al que pertenecen los estudiantes. Comparando cualitativamente los resultados de AIRE_A con AIRE_B, podemos señalar que:

1. Todos los estudiantes que pertenecen al nivel explicativo 1, a saber, Cat (11,8), Jos (11,8), Jul (12,1) y Mar (12,2), mantienen sus modelos de representación del aire. Esto podría corroborar la hipótesis de que la breve instrucción sobre los enlaces químicos que conlleva la entrevista no ha supuesto para estos alumnos ningún tipo de aprendizaje, al menos transferible a la capacidad de representar el aire a nivel microscópico.
2. De los diez alumnos que pertenecen al nivel explicativo 2, se observa que:
 - a) Seis de ellos no modifican sus modelos iniciales sobre el aire. Estos son:
 - Agu (12,3), en cuyo modelo mezcla elementos macroscópicos con los microscópicos (categoría 2).
 - Fra (12,5), Mic (11,9), Mav (15,6), Cia (12,7) y Pab (15,5), quienes en sus respectivos modelos, representan el aire con símbolos que pueden significar moléculas de sus componentes (categoría 3).

		AIRE_B					
		1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN	2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS.	3. REPRESENTAN EL AIRE CON SÍMBOLOS QUE PUEDAN SIGNIFICAR MOLÉCULAS DE SUS COMPONENTES.	4. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO PERO USANDO SÍMBOLOS ARBITRARIOS PARA REFERIRSE A LOS ÁTOMOS QUE ESTÁN FORMANDO MOLÉCULAS.	5. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO PERO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS SIN CONCRETAR LOS ENLACES QUÍMICOS.	6. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS Y DIBUJANDO LOS ENLACES QUÍMICOS.
AIRE_A	1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN	JUL (1) GIM (3)					
	2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS.		CAT (1) AGU(2)	GUI (2)		CLA (2) REY (3)	
	3. REPRESENTAN EL AIRE CON SÍMBOLOS QUE PUEDAN SIGNIFICAR MOLÉCULAS DE SUS COMPONENTES.			JOS (1) MAR (1) FRA (2) MIC (2) MAV (2) CIA (2) PAB (2) GAB (3) LUC (3) DAN (3) RIC (4)	GUA (2)	GAC (2) INA (3) VAR (3) NAN (4)	GAL (4) MAS (4)
	4. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO PERO USANDO SÍMBOLOS ARBITRARIOS PARA REFERIRSE A LOS ÁTOMOS QUE ESTÁN FORMANDO MOLÉCULAS.				MAT (4) RAC (4) MEL (4) FLO (4)	NIE (4)	FAC (4)
	5. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO PERO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS SIN CONCRETAR LOS ENLACES QUÍMICOS.			ANG (4)	PAO (4)	AGO (3) OLI (3) JER (3) HER (4) VIC (4)	
	6. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS Y DIBUJANDO LOS ENLACES QUÍMICOS.						KAR (3) BEL (4)

Tabla 56. Distribución de los estudiantes en las categorías empíricas de las variables AIRE_A y AIRE_B, según sus niveles explicativos.

b) Cuatro estudiantes cambian sus modelos del aire por otros que implican mayor grado de abstracción. Concretamente, nos referimos a:

- Cla (12,7), quien cambia su modelo identificado en la categoría empírica 2, por uno de la categoría 5.
- Gui (12,8), también cambia su modelo de la categoría 2 por otro de la categoría 3.
- Gac (12,2), cambia su modelo de la categoría 3 por otro de la categoría 5.
- Gua (12,1), pasa de un modelo de la categoría 3 por otro de la categoría 4.

3. De los once alumnos que pertenecen al nivel explicativo 3, se observa:

a) Ocho de ellos mantienen sus modelos del aire, y ellos son:

- Gim (15,0), cuyo modelo denota que carece de elementos para hacer algún tipo de representación (categoría 1).
- Dan (15,9), Gab (12,3) y Luc (15,0), presentan modelos con símbolos que pueden significar moléculas de los componentes del aire (categoría 3).
- Por otra parte, Ago (15,1), Oli (15,0) y Jer (15,4), representan el aire a nivel atómico, usando símbolos químicos pero sin especificar los enlaces químicos (categoría 5).
- Finalmente, Kar (15,0) representa el aire a nivel atómico usando símbolos químicos y especificando los enlaces químicos (categoría 6).

b) Así mismo, hay tres estudiantes que cambian su modelo, nos referimos a:

- Rey (12,7), quien cambia su modelo de la categoría 2, por otro de la categoría 5.
- Ina (12,7) y Var (15,5), cambian sus modelos de la categoría 3, por otro de la categoría 5.

4. De los quince alumnos que pertenecen al nivel explicativo 4:
- a) Ocho mantienen los modelos iniciales que tenían antes de comenzar la entrevista. Específicamente nos referimos a:
- Ric (18,0), quien representa el aire con símbolos que puedan significar moléculas de sus componentes (categoría 3).
 - Mat (15,6), Rac (18,5), Mel (18,0) y Flo (18,9), modelizan el aire a nivel atómico, usando símbolos arbitrarios para referirse a los átomos que están formando moléculas (categoría 4).
 - Her (15,3) y Vic (15,1), representan el aire a nivel atómico, usando símbolos químicos pero sin especificar los enlaces químicos (categoría 5).
 - Finalmente, Bel (18,2), representan el aire a nivel atómico usando símbolos químicos y detallando los enlaces químicos (categoría 6).
- b) Por otro lado, hay cinco estudiantes que cambian sus modelos del aire por otros que implican mayor grado de abstracción. Precisamente, nos referimos a:
- Gal (18,6) y Mas (18,7), quienes pasan de un modelo perteneciente a la categoría 3, por otro de la categoría 6
 - Nan (15,5), pasa de un modelo de la categoría 3, por otro de la categoría 5.
 - Nie (15,7), cambia su modelo perteneciente a la categoría 4, por otro de la categoría 5.
 - Fac (18,4), quien cambia su modelo de la categoría 4, por otro de la categoría 6.
- c) Es de destacar que hay dos alumnos que cambian sus modelos por otros que implican menor grado de abstracción. Nos referimos a:
- Pao (18,2) y Ang (18,2), que cambian sus modelos pertenecientes a la categoría 5, por otros de las categorías 4 y 3, respectivamente.

Según lo señalado anteriormente, podemos concluir que:

- De los cuarenta alumnos entrevistados, veintiséis (65%) mantienen el modelo de aire.
- Entre los veintiséis estudiantes que mantienen el modelo de aire, se hallan todos los del nivel explicativo 1, y una representación importante de los restantes niveles. Aunque leve, la estabilidad es menor cuanto mayor es el nivel explicativo, probablemente porque son alumnos más preparados para encajar los contenidos involucrados en la misma. Por edades, los estudiantes de 12 y 15 años son los que menos movilización sufren en sus tendencias gráficas sobre el aire.
- De los cuarenta alumnos entrevistados, solamente catorce (35%) modifican su modelo del aire; de ellos, cuatro pertenecen al segundo nivel explicativo, tres al tercero y siete al cuarto. Estos cambios son suficientes para hacer que la muestra tenga unos resultados medios significativamente mejores tras la realización de la entrevista.
- De los catorce alumnos que cambian su modelo, predominan ligeramente los del nivel explicativo 4. Esto es, hay una ligera tendencia a la mejora de sus explicaciones tras la instrucción que implica el proceso de la entrevista. De ahí la correlación levemente mayor de AIRE_B con RAE comparada con la de AIRE_A con RAE. Se puede concluir, tomando esta afirmación con la prudencia necesaria, derivada de la pequeña muestra de alumnos y de los pequeños cambios que acabamos de comentar, que cuanto más preparado está el alumno en sus explicaciones sobre el cambio químico, más movilización sufre de sus estructuras cognoscitivas respecto al aire. Hay que considerar además, que en dos alumnos del nivel explicativo 4, dicha movilización les lleva incluso a proponer representaciones gráficas de niveles inferiores a los iniciales.

Los datos obtenidos parecen corroborar el efecto positivo que la realización de la entrevista origina en la capacidad de los alumnos para representar gráficamente el aire. No obstante, este efecto es ligeramente mayor en los alumnos de los niveles superiores, que parecen aprovechar mejor los conocimientos de la misma. Estos resultados parecen corroborar las teorías de esquemas sobre los procesos de aprendizaje, según la cual los sujetos seleccionan la parte de la información presentada para la que tienen esquemas relevantes activados y que, además, es

consistente con el conocimiento que ya tienen adquirido. Puesto que, durante la entrevista, la única información relevante sobre el aire es la relacionada con la constitución química de las moléculas del nitrógeno y del oxígeno, era de esperar que los únicos alumnos que fueran capaces de aplicar el nuevo conocimiento aprendido fueran los más capacitados, y, por tanto, los de mayor nivel explicativo.

2.5 EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES AGUA_A Y AGUA_B

En este apartado, analizaremos la variable AGUA_A, que trata de categorizar las respuestas gráficas de los alumnos al representar microscópicamente al agua sin que aún haya comenzado el proceso de microenseñanza, es decir, al principio de la entrevista y de manera espontánea. Por el contrario, la variable AGUA_B, intenta categorizar las respuestas gráficas de los alumnos referidas a las representaciones microscópicas del agua, al finalizar el proceso de microenseñanza, es decir, al finalizar la entrevista.

Conviene asimismo recordar que el coeficiente de correlación de AGUA_A con RAE es de 0,436, leve, pero significativo al nivel del 99% de confianza (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5) y que el de AGUA_B con RAE disminuye a la cifra no significativa de 0,242.

Ante todo, si nos preguntamos por el impacto de la entrevista en la capacidad de representar gráficamente el agua, debemos acudir a calcular las diferencias de las medias entre AGUA_A y AGUA_B. En las tablas 57 y 58, se presentan estos resultados:

Estadísticos de muestras relacionadas					
		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	AGUA_A	3,95	40	1,431	,226
	AGUA_B	4,40	40	1,297	,205

Tabla 57. Diferencias entre medias de AGUA_A y AGUA_B.

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error tít. de la media	99% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 AGUA_A - AGU	-,450	1,011	,160	-,883	-,017	-2,814	39	,008

Tabla 58. Prueba de muestras relacionadas para las variables AGUA_A y AGUA_B.

En las tablas anteriores, 57 y 58, se observa que la media de los resultados de AGUA_B es ligera pero significativamente mejor que la media de los resultados de AGUA_A (al 99% de confianza). Por tanto, el proceso de instrucción que hay implícito en la entrevista ayuda a los alumnos a mejorar su capacidad de representación gráfica del agua.

En la tabla 59 se muestran los resultados de AGUA_A con AGUA_B, indicándose entre paréntesis el nivel explicativo al que pertenecen los estudiantes. Comparando cualitativamente los resultados de AGUA_A con AGUA_B, podemos señalar que:

1. De los cuatro estudiantes que pertenecen al nivel explicativo 1:
 - a) Tres de ellos mantienen sus modelos iniciales del aire. Concretamente nos referimos a:
 - Jul (12,1), quien mantiene su modelo inicial ubicado en la categoría 1 (carece de elementos para realizar la representación gráfica).
 - Cat (11,8) y Jos (11,8), quienes mantienen su modelo ubicado en la categoría 2 (mezclan elementos macroscópicos con los microscópicos).
 - b) Uno de ellos, Mar (12,2), cambia su modelo inicial de la categoría 3 por otro de mayor grado de abstracción representado en la categoría 4. (cambio que perjudica la correlación de AGUA_B con RAE, comparada con la de AGUA_A con RAE).

		AGUA_B					
		1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN.	2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS.	3. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN MOLÉCULAS.	4. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, PERO NO ESPECIFICAN LA NATURALEZA DE LOS ÁTOMOS.	5. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, ESPECIFICANDO LA NATURALEZA DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA.	6. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, ESPECIFICANDO LA NATURALEZA Y LOS ENLACES DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA.
AGUA_A	1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN.	JUL (1)					
	2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS.		CAT (1) JOS (1)	GUI (2)		CLA (2)	GAC (2)
	3. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN MOLÉCULAS.			DAN (3) MAV (2) RIC (4) ANG (4) FLO (4)	FRA (2) GUA (2) GAL (4) MAR (1)	INA (3) REY (3)	MAS (4)
	4. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, PERO NO ESPECIFICAN LA NATURALEZA DE LOS ÁTOMOS.				LUC (3) MAT (4) RAC (4) BEL (4) FAC (4) MEL (4) CIA (2)		

5. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, ESPECIFICANDO LA NATURALEZA DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA.				PAO (4)	MIC (2) AGU(2) AGO (3) GAB (3) JER (3) PAB (2)	
6. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIGNIFICAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, ESPECIFICANDO LA NATURALEZA Y LOS ENLACES DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA.						VAR (3) NAN (4) NIE (4) OLI (3) HER (4) KAR (3) VIC (4) GIM (3)

Tabla 59. Distribución de los estudiantes en las categorías empíricas de las variables AGUA_A y AGUA_B, según sus niveles explicativos.

2. De los diez estudiantes del nivel explicativo 2, podemos señalar lo siguiente:

a) Cinco estudiantes mantienen su modelo inicial del agua, nos referimos a:

- Mav (15,6) que mantiene su modelo inicial ubicado en la categoría 3 (representa el agua con símbolos arbitrarios que significan moléculas).
- Cia (12,7) que mantiene su modelo inicial ubicado en la categoría 4 (grafica el agua con símbolos arbitrarios que simbolizan átomos formando moléculas, pero sin especificar la naturaleza de los átomos).
- Mic (11,9), Agu (12,3), Pab (15,5), que mantienen sus modelos iniciales ubicados en la categoría 5 (esto es, modelizan el agua con símbolos arbitrarios que significan átomos formando moléculas, especificando la naturaleza de los átomos que constituyen la molécula).

c) Cinco estudiantes cambian su modelo inicial del agua, por otro de mayor complejidad, ellos son:

- Gui (12,8), Cla (12,7), Gac (12,2) cambian sus modelos iniciales de la categoría 2 por otro de las categorías 3, 5 y 6, respectivamente. (cambios que perjudican la correlación de AGUA_B con RAE, comparada con la de AGUA_A con RAE).
- Fra (12,5) y Gua (12,1), cambian sus modelos iniciales de la categoría 3, por otro de la categoría 4. (otro cambio que perjudica la correlación de AGUA_B con RAE, comparada con la de AGUA_A con RAE).

3. De los once estudiantes del nivel explicativo 3, podemos destacar que:

a) Nueve estudiantes no modifican su modelo inicial del agua, concretamente, nos referimos a:

- Dan (15,9), que se mantiene en su modelo de la categoría 3 (representa al agua con símbolos arbitrarios que significan moléculas).
- Luc (15,0), que se mantiene en su modelo de la categoría 4 (representa el agua con símbolos arbitrarios que significan átomos formando moléculas, sin especificar la naturaleza de los átomos).
- Ago (15,1), Gab (12,3) y Jer (15,4) que se mantienen en sus modelos de la categoría 5 (representan el agua con símbolos arbitrarios que significan átomos formando moléculas, especificando la naturaleza de los átomos que constituyen la molécula).
- Finalmente, Var (15,5), Oli (15,0), Kar (15,0) y Gim (15,0), representan el agua con el modelo más complejo de la categoría 6 (es decir, con símbolos arbitrarios que significan átomos formando moléculas, especificando la naturaleza y los enlaces entre átomos).

b) Por otra parte, sólo dos estudiantes modifican su modelo del agua, ellos son:

- Ina (12,7) y Rey (12,7) cambian su modelo de la categoría 3 por otro más avanzado de la categoría 5 (cambios que perjudican la

correlación de AGUA_B con RAE, comparada con la de AGUA_A con RAE).

4. De los quince estudiantes del nivel explicativo 4, podemos destacar que:

a) Doce estudiantes no cambian sus representaciones, específicamente nos referimos a:

- Ric (18,0), Ang (18,9) y Flo (18,9), que mantienen sus modelos iniciales pertenecientes a la categoría 3 (agua con símbolos arbitrarios que significan moléculas).
- Mat (15,6), Rac (18,5), Bel (18,2), Fac (18,4) y Mel (18,0) quienes mantienen sus modelos iniciales de la categoría 4 (quienes grafican el agua con símbolos arbitrarios que significan átomos formando moléculas, sin especificar la naturaleza de los átomos).
- Por último, Nan (15,5), Nie (15,7), Her (15,3) y Vic (15,1), que se mantienen en sus modelos iniciales de la categoría 6 (utilizan símbolos arbitrarios que significan átomos formando moléculas, especificando la naturaleza de los átomos que constituyen la molécula y los enlaces entre los átomos).

b) Dos alumnos cambian sus representaciones por otras que involucran categorías superiores, ellos son:

- Gal (18,6) y Mas (18,7) que cambian sus modelos iniciales pertenecientes a la categoría 3, por otros de las categorías 4 y 6, respectivamente (estos cambios, globalmente, no afectaría a la peor correlación de AGUA_B con RAE, en comparación a la de AGUA_A con RAE).

c) Un solo estudiante cambia su modelo por otro de menor complejidad, nos referimos a Pao (18, 2), quien cambia su modelo inicial de la categoría 5, por otro de la categoría 4 (cambio que afecta positivamente a una mayor correlación de AGUA_B con RAE, en comparación a la de AGUA_A con RAE)

Según lo indicado anteriormente, podemos concluir que:

- De los cuarenta alumnos entrevistados, veintinueve (72,5%) mantienen el modelo inicial de agua.

- De los anteriores veintinueve alumnos, tres pertenecen al nivel explicativo primero; cinco al segundo; nueve al tercero y doce al cuarto. Por tanto, hay diversidad de todos los niveles explicativos. No obstante, en general, se observa, al contrario que para las variables AIRE_A y AIRE_B, que la estabilidad de los modelos es mayor cuanto mayor es el nivel explicativo.
- De los cuarenta alumnos entrevistados, solamente once (27,5%) cambian su modelo del agua. Este escaso número junto con la diferencia significativa de medias permite sostener que el aprendizaje de los enlaces químicos ha influido leve pero significativamente en las representaciones de los estudiantes acerca del agua.
- De los once alumnos que cambian su modelo del agua, uno pertenece al nivel explicativo primero; cinco al segundo; dos al tercero y tres al cuarto. Estos cambios alejan más a la muestra de sus niveles explicativos, lo que explica que AGUA_B tenga menos correlación con RAE que AGUA_A.

En resumen, se puede afirmar que la significativa, pero baja correlación de 0,436 de AGUA_A con RAE, se debe a que, en general, los alumnos pueden simbolizar gráficamente al agua mejor de lo que les permite sus conocimientos derivados de los niveles explicativos. Esto podría explicarse por la familiaridad del alumno con este compuesto químico derivada de sus largos años de escolarización. Podríamos afirmar, por tanto, que es una variable de baja exigencia y, en consecuencia, débilmente significativa para la deducción de sus niveles explicativos.

Por otro lado, la peor correlación de 0,242 de AGUA_B con RAE, se debe a que, tras la entrevista, hay una movilización de los modelos iniciales de once alumnos, hacia categorías superiores, por lo que, si ya los alumnos antes de la entrevista mostraban en esta variable mayor grado de ejecución que lo que podría presumirse de sus niveles explicativos, después de la misma, este grado de ejecución mejora aún más, y en consecuencia se alejan más de sus niveles explicativos.

Los datos obtenidos parecen corroborar el efecto positivo que la realización de la entrevista origina en la capacidad de los alumnos para representar gráficamente el agua. No obstante, este efecto es ligeramente mayor en los alumnos de los niveles medio-bajos, que parecen aprovechar mejor los conocimientos de la misma. En el transcurso de la entrevista, los alumnos “ven la molécula de agua”, al ser una de las

representadas mediante “esferitas y palillos” desde el comienzo de la misma. Podría estar ocurriendo que esta visión concreta estuviera ayudando a los alumnos de menor nivel de la entrevista a representar de forma más acertada al agua.

Recordemos que, en el caso del aire, que se vio en el apartado anterior, el efecto positivo de la entrevista venía marcado por los alumnos de nivel explicativo más elevado. Sería interesante desvelar a qué se debe esta diferencia con el agua. Un análisis del contenido específico de la entrevista podría darnos la explicación. Esta comienza con la construcción de moléculas de sustancias comunes (entre ellas, el oxígeno, el nitrógeno y el agua) y continúa indagando en la constitución interna de esas moléculas y átomos. Pero no trata, en ningún momento de la constitución del aire ni de la manera en que se unen las moléculas entre sí. Es posible pensar que la información que se da del agua es directa, puesto que se trabaja la molécula de agua, mientras que la que se da del aire es indirecta (lo que se trabaja son las moléculas de oxígeno y nitrógeno). Esto podría hacer que los alumnos de bajo nivel explicativo pudieran aprovechar la primera pero no la segunda, que requiere de una aplicación del nuevo conocimiento que, probablemente, necesite de más tiempo de ejecución y de aprendizaje para alcanzarse.

2.6 EVOLUCIÓN DE LA VARIABLE MACROM

En primer lugar, hay que recordar que la variable MACROM trata de categorizar las respuestas de los alumnos referidas a la interpretación de una reacción química en la que intervienen macromoléculas.

Como resultado más destacable, merece la pena señalar que la correlación de esta variable con los niveles explicativos es baja, tal como lo muestra el valor de 0,335 (ver tabla 28, apartado 3.1, capítulo 5).

Analizando los resultados expuestos en la tabla 60, vemos que:

1. Tanto los estudiantes de los niveles explicativos 1 y 2, tras dudas y tanteos, conciben la fórmula empírica monoatómica como la mínima parte de una macromolécula que entra a formar parte de una reacción química (categoría 3 de la variable MACROM). Por ejemplo, Jos, al escribir la fórmula, en el cobre (reactivo) escribe “ Cu_2 ” porque dice que reaccionaron 2 átomos. Sin embargo cuando la entrevistadora le pregunta de dónde salieron los átomos de cobre, él responde que de la macromolécula, ahí advierte que no se

puede escribir “Cu₂” porque eso indicaría “que son 2 átomos juntos” (molécula biatómica), entonces lo corrige y escribe “2 Cu”.

Otro ejemplo lo constituye Gui, también en la ecuación química del óxido cúprico:

Gui en la ecuación del óxido cúprico si bien escribe 4 Cu en los reactivos, duda cuando se le pregunta si es lo mismo 4 Cu que Cu₄ sin embargo, piensa y reconoce la diferencia.

E: ¿Y si hubieras puesto Cu₄ sería lo mismo?

A: No sé... (duda)

E: Mira, cuando escribes O₂ ¿qué significa?

A: Dos átomos de oxígeno... no, dos moléculas de oxígeno... no, una molécula de oxígeno.

E: ¿Y 2 O qué significa?

A: Dos átomos de oxígeno.

E: Claro, O₂ es una molécula de oxígeno y 2 O son dos átomos de oxígeno. Ahora, ¿es lo mismo 4 Cu que Cu₄?

A: No, porque 4 Cu son 4 átomos de cobre y Cu₄ es una molécula que tiene cuatro átomos de cobre.

E: Bien, completa la ecuación.

A: Usé 4 átomos de cobre, entonces pongo 4 Cu; luego usé 2 moléculas de oxígeno, así que O₂ + O₂ y se forman 4 de CuO.

2. Para los estudiantes del nivel explicativo 3, en general, la reacción no comienza con la rotura de los enlaces macromoleculares, sino por la adición del otro reactivo a la macromolécula (categoría 2 de la variable MACROM). No obstante, advertidos de ello, rectifican y corrigen. Por ejemplo Oli, en la representación con modelos de bolas y varillas del CO₂ a partir del C grafito y del O₂:

Oli piensa cómo hacer la representación del dióxido de carbono y pregunta: “¿Uniéndolo a uno solo (se refiere a un solo átomo de C) ¿o no?...”

(Piensa) “Y para mi tendría que ir unido uno de acá, así...” (o sea un átomo de O unido a un átomo de la macromolécula).

E: Mira el producto de la reacción y compáralo con lo que estás haciendo...

A: (Inmediatamente advierte el error y corrige) “Es CO₂ o sea un C unido a 2 oxígeno... ah!!! Entonces tendría que separar (romper) la macromolécula para que pueda producirse el CO₂...Entonces queda abierto el enlace de la macromolécula y unido los átomos de oxígeno... O... se puede separar la macromolécula... y un C puede ser despedido o no sé la palabra que pueda utilizar pero para que se una con los oxígeno... para mi sería esto.

E: ¿Y con los átomos de carbono que sobraron?

A: “Tienen que unirse con otros C que estén libres para que no se pierda la macromolécula.”

3. Los estudiantes del nivel explicativo 4, desde el principio de la tarea, conciben la fórmula empírica monoatómica como la mínima parte de una macromolécula que entra a formar parte de una reacción química (categoría 4 de la variable MACROM). Por ejemplo Mat, en la formación de dióxido de carbono a través de grafito y oxígeno manifiesta:

A: ...“sí, tengo que desarmar esta molécula (se refiere al oxígeno) y esto también (se refiere al grafito) y formar un solo componente.”

E: ¿Y con el carbono que sobra?

A: “y se unen y forman más grafito... O también la otra es que reaccione con más oxígeno y forme varias moléculas”.

CATEGORÍAS EMPÍRICAS	NIVEL EXPLICATIVO 1	NIVEL EXPLICATIVO 2	NIVEL EXPLICATIVO 3	NIVEL EXPLICATIVO 4
1. LA REACCIÓN NO COMIENZA CON LA ROTURA DE LOS ENLACES MACROMOLECULARES, SINO POR LA ADICIÓN DEL OTRO REACTIVO A LA MACROMOLÉCULA. ESTO ES, CONCIBEN LA FÓRMULA EMPÍRICA COMO TODA LA MACROMOLÉCULA Y NO COMO LA MÍNIMA PARTE DE LA MISMA. ADVERTIDOS DE ELLO, NO RECTIFICAN. CO ₂ REPRESENTA LA UNIÓN DE O ₂ A LA MACROMOLÉCULA NO DISTINGUEN CU ₄ DE 4CU.			GIM (15,0)	VIC (15,1)
2. LA REACCIÓN NO COMIENZA CON LA ROTURA DE LOS ENLACES MACROMOLECULARES, SINO POR LA ADICIÓN DEL OTRO REACTIVO A LA MACROMOLÉCULA. ADVERTIDOS DE ELLO, RECTIFICAN Y CORRIGEN.	CAT (11,8)	AGU (12,3) MAV (15,6)	OLI (15,0) JER (15,4) KAR (15,0) LUC (15,0)	HER (15,3) MAS (18,7) GAL (18,6)
3. TRAS DUDAS Y TANTEOS, CONCIBEN LA FÓRMULA EMPÍRICA MONOATÓMICA COMO LA MÍNIMA PARTE DE UNA MACROMOLÉCULA QUE ENTRA A FORMAR PARTE DE UNA REACCIÓN QUÍMICA.	JOS (11,8) JUL (12,1) MAR (12,2)	PAB (15,5) FRA (12,5) GUA (12,1) MIC (11,9) GAC (12,2) CLA (12,7) GUI (12,8) CIA (12,7)	AGO (15,1) REY (12,7)	MEL (18,0)
4. DESDE EL PRINCIPIO, CONCIBEN LA FÓRMULA EMPÍRICA MONOATÓMICA COMO LA MÍNIMA PARTE DE UNA MACROMOLÉCULA QUE ENTRA A FORMAR PARTE DE UNA REACCIÓN QUÍMICA.			GAB (12,3) DAN (15,9) INA (12,7)	BEL (18,2) FAC (18,4) MAT (15,6) ANG (18,9) RAC (18,5) PAO (18,2) RIC (18,0) VAR (15,5) NIE (15,7) NAN (15,5) FLO (18,9)

Tabla 60. Distribución de los estudiantes en las categorías empíricas de la variable MACROM.

En general, podríamos decir que se observa un comportamiento un tanto especial de la muestra ante el contenido que implica la variable MACROM, ya que no se observa una tendencia paralela entre la variable y los niveles explicativos. De hecho, alumnos de todos los niveles explicativos pueden comportarse según las categorías 2 y 3 de esta variable. La explicación de esta baja correlación podría encontrarse en la escasa atención que el profesorado de química suele prestar a las fórmulas empíricas que representan a las macromoléculas en la enseñanza habitual.

2.7 EVOLUCIÓN DE LAS VARIABLES ACIE_A y ACIE_D

Las variables ACIE_A y ACIE_D recogen los números de aciertos de los estudiantes antes de comenzar la entrevista y al final de la misma, respectivamente, acerca de la clasificación, de nueve sustancias, en sustancias puras y mezclas. El contenido de estas variables está relacionado con los conocimientos previos sobre mezclas y sustancias y han sido introducidas en la investigación para tratar de analizar si éstos sufren alguna modificación con la realización de la entrevista.

Para estudiar esta hipótesis, esto es el impacto de la entrevista en la capacidad de diferenciar gráficamente sustancias puras y mezclas, debemos acudir a calcular las diferencias de las medias entre ACIE_A y ACIE_B. En las tablas siguientes, 61 y 62, se presentan estos resultados.

Estadísticos de muestras relacionadas

	Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 ACIE_A	5,50	30	2,162	,395
ACIE_D	6,43	30	2,192	,400

Tabla 61. Diferencias de las medias entre ACIE A y ACIE B.

Prueba de muestras relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	99% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 ACIE_A - ACI	-,933	1,818	,332	-1,848	-,018	-2,812	29	,009

Tabla 62. Prueba de muestras relacionadas para las variables ACIE_A y ACIE_D.

Ante todo, hay que advertir que el número de alumnos que llegaron a responder esta cuestión es únicamente de 30 y no comprende a los 40 alumnos de la muestra, debido a que fue introducida cuando ya se habían realizado las diez primeras entrevistas de los alumnos de Polimodal, lo que limita los resultados derivados del presente análisis.

Aún así, se observa que la media de los resultados de ACIE_D es ligera pero significativamente mejor que la media de los resultados de ACIE_A (al 99% de confianza). Por tanto, el proceso de instrucción que hay implícito en la entrevista ayuda a los alumnos a mejorar su capacidad de diferenciar gráficamente sustancias puras y mezclas.

Un análisis más pormenorizado se encuentra en la tabla 63 en la que se indica el seudónimo del alumno, su edad, la calificación obtenida en ACIE_A, la obtenida en ACIE_D, las diferencias entre ambas, y su nivel explicativo.

En primer término debemos destacar la baja correlación de estas variables con los niveles explicativos, tal como queda reflejado en los valores de correlación de ACIE_A con RAE (0,073) y de ACIE_D con RAE (0,097).

Analizando globalmente la muestra:

- 4 alumnos descienden en el número de aciertos.
- 12 alumnos no experimentan variación en el número de aciertos obtenido.
- 14 alumnos incrementan su número de aciertos.

Si se analiza el comportamiento por nivel explicativo:

- De los cuatro estudiantes del nivel explicativo 1, dos mantienen el número de aciertos a lo largo de la entrevista; uno aumenta y otro disminuye.

- De los nueve alumnos de los que se tienen los datos del nivel explicativo 2, uno mantiene el número de aciertos a lo largo de la entrevista; seis lo aumenta y dos lo disminuye.
- De los cinco alumnos de los que se tienen los datos del nivel explicativo 3, cuatro no experimentan mejoría y uno disminuye.
- Finalmente, de los doce alumnos de los que se tienen los datos del nivel explicativo 4, cinco mantiene el número de aciertos a lo largo de la entrevista y siete lo aumenta.

ALUMNO	EDAD	ACIE_A	ACIE_D	ACIE_D - ACIE_A	NIVEL EXPLICATIVO
Cat	11,8	7	6	-1	1
Jul	12,1	5	5	0	1
Mar	12,2	8	8	0	1
Jos	11,8	4	8	4	1
Mic	11,9	4	7	3	2
Gua	12,1	6	8	2	2
Gac	12,2	5	5	0	2
Agu	12,3	6	7	1	2
Fra	12,5	6	8	2	2
Gui	12,8	1	4	3	2
Cla	12,7	5	1	-4	2
Cia	12,7	5	3	-2	2
Pab	15,5	5	7	2	2
Mav	15,6	.	9	-	2
Gab	12,3	5	4	-1	3
Ina	12,7	8	8	0	3
Rey	12,7	9	9	0	3
Gim	15,0	.	7	-	3
Luc	15,0	.	8	-	3
Jer	15,4	.	5	-	3
Dan	15,9	1	1	0	3
Oli	15,0	.	5	-	3
Kar	15,0	.	8	-	3
Ago	15,1	.	8	-	3
Var	15,5	9	9	0	3
Vic	15,1	.	7	-	4
Her	15,3	.	2	-	4
Nan	15,5	3	6	3	4
Mat	15,6	.	5	-	4
Nie	15,7	1	4	3	4
Mel	18,0	8	8	0	4
Ric	18,0	5	5	0	4
Pao	18,2	5	7	2	4
Mas	18,7	6	8	2	4
Ang	18,9	5	8	3	4
Bel	18,2	5	8	3	4
Fac	18,4	8	8	0	4
Rac	18,5	8	8	0	4
Gal	18,6	7	7	0	4
Flo	18,9	5	8	3	4

Tabla 63. Número de aciertos en las variables ACIE_A y ACIE_D, y diferencias entre ambos para todos los alumnos.

De lo anterior, podemos suponer que la mejoría estadísticamente significativa que se experimenta en esta tarea tras la realización de la entrevista no está relacionada con el nivel explicativo si bien, se advierte una cierta tendencia al aumento de los aciertos de los niveles explicativos superiores, como ocurría con la representación gráfica del aire.

3. CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS DE ESTUDIANTES

3.1 Grupo bajo

Este grupo está constituido por cuatro estudiantes de 1^o año de secundaria (7^o de EGB 3): **Cat (11,8)**, **Jos (11,8)**, **Jul (12,1)** y **Mar (12,2)**. Estos estudiantes son los que tienen menor rendimiento, es decir RAE comprendido entre 28 y 39.

Este grupo realiza representaciones gráficas del aire y el agua que contienen tanto elementos macroscópicos como microscópicos. Por ejemplo en el aire, Cat: “Los cuadraditos serían el oxígeno y lo que sobra, todo lo que sobra sería el nitrógeno.” Algo similar para el agua: “El hidrógeno es esto... y lo que nos sobra sería el oxígeno”. Tras la entrevista, el grupo no modifica sus esquemas iniciales, como se muestra en la figura 21.

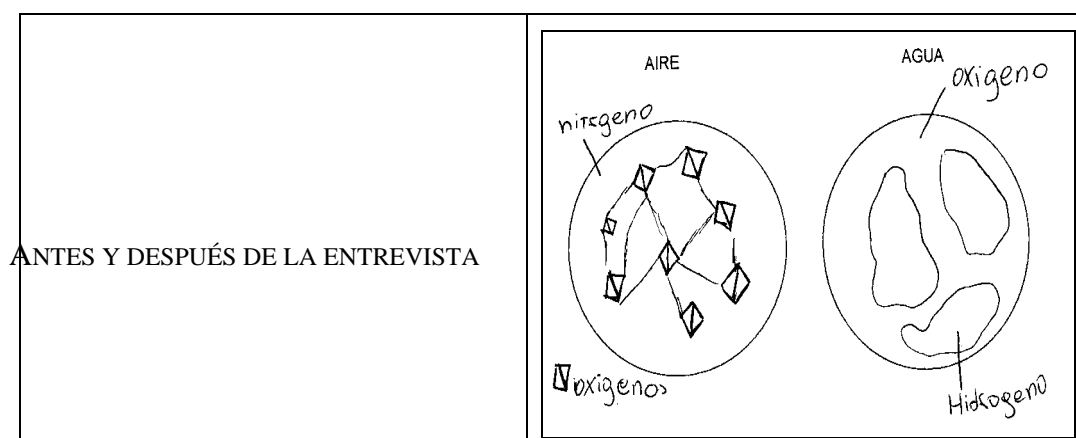


Figura 21. Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.

Cuando se les pide que construyan modelos de moléculas usando esferitas de distintos tamaños que simbolizan a los átomos, son capaces de hacerlo, pero lo

hacen a merced del dictado figurativo de la fórmula molecular, como si ésta reflejara la disposición de los átomos. Así, para representar el agua, lo hacen siempre de modo lineal y con los dos átomos de hidrógeno ligados entre sí, dando lugar a la disposición H-H-O. Si se les pregunta si la disposición de la molécula pudiera ser H-O-H dicen que no, que la fórmula pone H-H-O (variable molecu).

Construyen los modelos de bolas y varillas de las sustancias que intervienen en las reacciones químicas y posteriormente tratan de escribir sus fórmulas químicas, sin demostrar, en sus explicaciones, que haya relación entre ambas representaciones. Es decir que, por ejemplo, escriben O en vez de O₂ (confunden átomo y molécula) (variable reac_1), aún cuando previamente hayan modelizado la molécula de oxígeno con dos esferitas que simbolizan átomos de oxígeno. Asimismo, en la reacción del nitrógeno con el hidrógeno para formar amoníaco, consideran que cada átomo de nitrógeno, que formaba parte de una molécula, se une a tres átomos de hidrógeno (escriben 3 H), pero sin considerar que éstos formaban parte de 3 moléculas de dicha sustancia. Podemos afirmar pues que los alumnos de este grupo **no comprenden el significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia**. Ante la advertencia reiterada de la entrevistadora sugiriéndoles que comparen la fórmula escrita de las moléculas con los modelos de bolas y varillas previamente construidos, pueden reaccionar momentáneamente, pero ello no les lleva a una asimilación permanente del concepto de molécula como estructura estable que identifica a la sustancia química (variable reac_2).

En las reacciones que involucran especies macromoleculares, no conciben que la reacción comience con la rotura de los enlaces macromoleculares, sino por la adición del otro reactivo a la macromolécula. Por ejemplo en la reacción de carbono grafito con el oxígeno, unen directamente la molécula de oxígeno al grafito. Ante la advertencia externa de la entrevistadora sugiriéndoles que comparen el modelo de dióxido de carbono realizado previamente a partir de la fórmula química, pueden reaccionar momentáneamente, pero ello no les lleva a una asimilación permanente del concepto de macromolécula como estructura estable que identifica a la sustancia química (variable macrom).

Es posible concluir que para los alumnos de este grupo **no es posible la representación química**, ya que no conciben la asociación entre estructura física y el símbolo químico utilizado para su representación.

Respecto a las indagaciones realizadas directamente sobre el enlace químico, se detecta que estos alumnos carecen de elementos que le permitan comprender el modelo atómico electrónico (variable modele), por lo tanto, no saben cómo distribuir los electrones en las órbitas; tienen serias dificultades para dibujar el átomo; y creen que en la notación de Lewis se representan todos los electrones y no los del último nivel de energía. De esta manera, necesitan ayuda permanentemente para poder completar: símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo de algunos elementos.

De lo expuesto, podríamos concluir, prudentemente, que **no están capacitados para aprender el enlace químico**, tal es así que necesitan ayuda para realizar los enlaces entre diferentes átomos y analizar las relaciones entre los modelos representacionales de enlace químico: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas (variable mode_2). Por ejemplo, en el enlace entre el hidrógeno y el oxígeno para formar agua, identifican que la unión es covalente, que el oxígeno necesita dos electrones y el hidrógeno uno, sin embargo, representan mal el enlace, pues escriben 2 H-O.

Así mismo, no comprenden el concepto de ión (cómo se origina, porqué se origina y qué carga posee), ni la compartición de electrones en el enlace covalente ni en el enlace metálico. Esto conlleva a que solamente con ayuda puntual, puedan deducir la configuración electrónica de algunos elementos cuando ganan o pierden electrones (variable iones1), pero hay que destacar las dificultades que tienen para ello, entre otras, por ejemplo, no comprenden qué quiere decir que un átomo esté neutro y que deje de serlo cuando gana o pierde electrones.

Esto influye en que no puedan explicar las causas del enlace químico ni el proceso por el cual se lleva a cabo (variables causa y enla_2) o bien, proponen respuestas con elementos antropológicos para explicar la causa del enlace químico, por ejemplo Cat: "*Porque son chiquititos*" (variable enla_1).

Lo expuesto, nos lleva a poder considerar que los estudiantes de este grupo, **no alcanzan a comprender el enlace químico, en ninguno de sus modelos.**

En conclusión, la característica más destacable de este grupo de alumnos es que no distingue entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y unión más débil que liga las moléculas entre sí. Por tanto, no es posible la representación química ni el enlace químico en ninguno de sus modelos.

3.2 Grupo medio bajo

A este grupo pertenecen diez estudiantes, en su mayoría de 1^o año de secundaria (7^o de EGB 3): **Mic (11,9)**, **Gua (12,1)**, **Gac (12,2)**, **Agu (12,3)**, **Fra (12,5)**, **Cla (12,7)**, **Cia (12,7)**, **Gui (12,8)**, y de 4^o año de secundaria (1^o de polimodal): **Pab (15,5)**, **Mav (15,6)**. Se caracterizan por tener un RAE comprendido entre 41 y 52. A continuación detallamos las características de este grupo.

En un principio las representaciones gráficas que realizan del agua y del aire contienen elementos macroscópicos y microscópicos, como en el grupo anterior, sin embargo, y a diferencia de éste grupo, al final del proceso de microenseñanza, modifican estas representaciones por aquéllas que contienen símbolos que significan moléculas de sus componentes, como se puede observar en las siguientes representaciones de la figura 22.

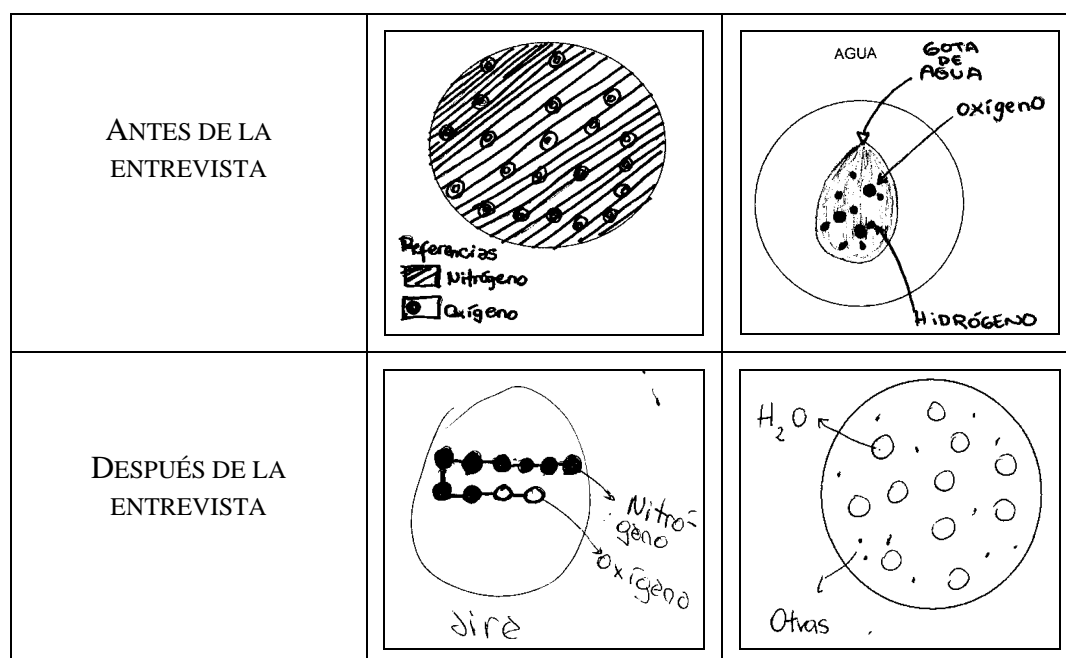


Figura 22. Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.

Al igual que el grupo bajo, este grupo construye los modelos moleculares de bolas y varillas conforme al dictado figurativo de las fórmulas moleculares (variable molecu). Sin embargo, en cierta medida, demuestran comprensión entre estas estructuras y las fórmulas químicas (variable reac_1). Por ejemplo Gui, en la reacción entre el cloro y el hidrógeno para formar cloruro de hidrógeno, toma una molécula de cloro y otra de hidrógeno y empieza a escribir la reacción: “bueno,

entonces Cl_2 porque son dos átomos de cloro... más H_2 porque son dos hidrógeno... “ sigue trabajando con las moléculas, rompiendo los enlaces y formando el cloruro de hidrógeno, luego completa la reacción: “se forman... dos moléculas de cloruro de hidrógeno”, y escribe $2 HCl$.

Este grupo, aunque puede confundir átomo, molécula y macromolécula, a diferencia del grupo anterior, muestra en cierta medida, comprensión de estos conceptos (variable reac_2), pues por ejemplo Gui, en la reacción entre el cobre y el oxígeno para formar óxido cúprico, toma dos átomos de la macromolécula de cobre y con la molécula de oxígeno, arma dos moléculas de óxido cúprico, pero escribe la reacción como: $O_2 + Cu_2 \longrightarrow 2 CuO$ Cuando se le pregunta por el significado de Cu_2 , dice que es una molécula, pero al preguntarle cómo es el cobre, manifiesta que “es una macromolécula con muchos átomos”. Al preguntarle cuántos átomos utilizó de esa macromolécula, responde “dos” y que lo indicaría como “ $2 Cu$, porque Cu_2 sería una molécula de cobre que tiene dos átomos y no... es una macromolécula”. Con lo expuesto vemos que tras dudas y tanteos, pueden llegar a concebir la fórmula empírica monoatómica como la mínima parte de una macromolécula que entra a formar parte de una reacción química (variable macrom).

Por lo tanto, para este grupo podemos manifestar que **es posible un nivel básico de representación química, pues hay una asociación nemotécnica entre estructura física y el símbolo químico que se usa para representarla.**

Con respecto al modelo atómico electrónico, comienzan con ayuda (sobre todo en la notación de Lewis) pero continúan solos en la interpretación del símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis, representación del átomo (variable modele). Es decir que son capaces de realizar por sí mismos la tarea, aplicando reglas de razonamiento en cierto modo aisladas del conocimiento específico. Sin embargo, sólo con ayuda durante toda la tarea, pueden deducir la configuración electrónica de diferentes elementos cuando ganan o pierden electrones (variable iones1), es decir que, manifiestan las mismas dificultades que el grupo bajo. Por ejemplo, Gui considera que el átomo de potasio, cuando pierde un electrón, queda con una carga negativa menos y lo escribe como K^1 .

Esto, sin dudas, influye en la comprensión del enlace químico, de modo que pueden llegar a alcanzar este concepto y realizar representaciones de bajo nivel (variable mode_2).

Con respecto a la causa del enlace químico, la justifican con respuestas macroscópicas del tipo “Para formar diferentes materiales, sustancias” (variables enla_1 y causa) y, desconocen cómo se produce el enlace (variable enla_2).

Como conclusión para los integrantes de este grupo, sostenemos que en un principio, no distinguen entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. A pesar de esto, ante una observación exterior, pueden rectificar y recordar esta distinción.

3.3 Grupo medio alto

A este grupo pertenecen once estudiantes, en su mayoría de 4^o año de secundaria (1^o de polimodal): **Gim (15,0), Luc (15,0), Jer (15,4), Dan (15,9), Oli (15,0), Kar (15,0), Ago (15,1), Var (15,5)** y tres de 1^o año de secundaria (7^o de EGB 3): **Gab (12,3), Ina (12,7) y Rey (12,7)**. El rendimiento de este grupo está entre 54 y 63.

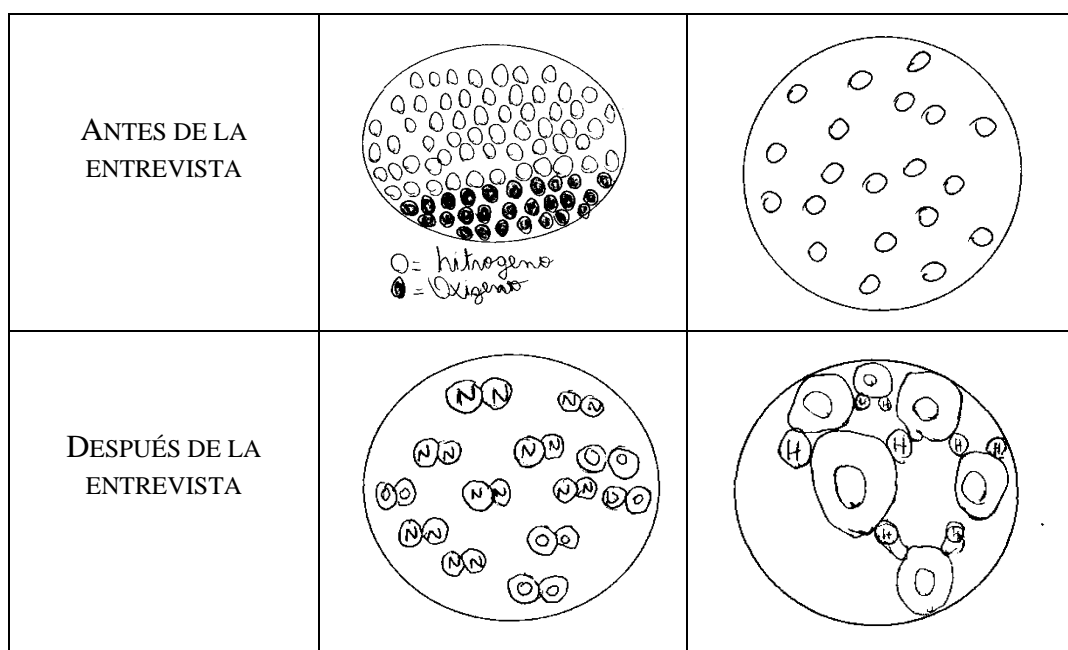


Figura 23. Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.

A diferencia del grupo medio-bajo anterior, este grupo realiza representaciones gráficas del aire y el agua con símbolos que puedan significar moléculas de sus componentes, sin embargo, al final de la entrevista, cambian estas

representaciones por otras en las que, utilizan símbolos químicos para representar los átomos pero, sin especificar los enlaces químicos (ver figura 23).

Una característica que se repite, como en los grupos anteriores, es la construcción de moléculas en correspondencia con la fórmula molecular (variable molecu). Por ejemplo modelizan la molécula de amoníaco colocando el nitrógeno y luego los tres hidrógeno seguido, justificánolo porque *“así dice la fórmula”*.

Al igual que el grupo anterior, cuando explican las reacciones químicas, son capaces de relacionar las representaciones construidas con las fórmulas químicas (variable reac_1). Por ejemplo al explicar, con los modelos de bolas y varillas, la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno, dicen que toman una molécula de oxígeno que está formada por 2 átomos, pero que es un solo oxígeno el que se unió a una molécula de hidrógeno, entonces escribe: $H_2 + O \longrightarrow H_2O$ y el otro oxígeno se unió a otra molécula de hidrógeno y se formó otra de agua, y escribe nuevamente $H_2 + O \longrightarrow H_2O$ Inmediatamente representa gráficamente con bolas y varillas esto que manifestó, es decir, dibuja 2 moléculas de hidrógeno y una molécula de oxígeno y se forman 2 moléculas de agua. De la misma manera que el grupo anterior, muestran desde el principio, buena comprensión del significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia, también lo hace con el concepto de macromolécula (variable reac_2). Sin embargo, como se puede apreciar, este grupo plantea fórmulas químicas, pero con un uso funcional limitado. Por ejemplo, Ina en la reacción del cobre con el oxígeno, para formar dos moléculas de óxido cúprico, manifiestan: *“Serían 2 átomos de oxígeno o sea una molécula, y de cobre usé 2 átomos de cobre, o sea ¿Cu₂? pero así estaría representando una molécula... (piensa) porque si O₂ me representa 2 átomos, entonces Cu₂ me representa 2 átomos también... (piensa) Pero Cu₂ indica que la molécula está formada por 2 átomos y no... no está formada por 2 átomos porque es macromolécula y no sabemos cuántos átomos tiene, son muchos... y bueno le pongo Cu no más... y un 2 adelante entonces*. Esto nos lleva a considerar que el grupo concibe la fórmula empírica monoatómica como la mínima parte de una macromolécula que entra a formar parte de una reacción química (variable macrom).

De lo anterior, se evidencia **comprensión del significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia**, y del concepto de macromolécula, como así también, **es posible la representación química (hay una asociación**

funcional entre la estructura física y el símbolo químico que se usa para representarla).

Comparando con el grupo anterior, este grupo manifiesta tener más capacidad para interpretar el modelo atómico electrónico, es decir, relacionan símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo, para determinados elementos químicos (variable *modele*), tal es así que realizan toda la tarea solos, sin ayuda. Esto, en cierta manera, parece influir positivamente en la deducción de las configuraciones electrónicas de los átomos cuando ganan o pierden electrones (variable *iones1*) ya que si bien comienzan con un poco de ayuda, rápidamente continúan solos, con lo cual hay un avance con respecto al grupo anterior. Por ejemplo Ina se refiere al sodio cuando pierde un electrón: *“quedaría con diez cargas negativas, pero al tener once positivas, va a quedar con un protón de más... ¿y lo escribo así Na^+ ?”* Esta consideración que hacemos con respecto al grupo anterior, se ve reflejada a la hora de explicar el enlace químico en diferentes casos, ya que si bien necesitan ayuda al principio, por ejemplo para escribir la notación de Lewis, o para corregir la carga de un ión (sobre todo cuando hay dos átomos iguales que pierden un electrón, como el Na, o dos átomos que ganan electrones, como el Cl), sin embargo, pueden continuar sin ayuda, salvo de modo puntual que le hace reaccionar y corregir (variable *mode_2*), es decir que pueden relacionar diferentes modelos moleculares (Lewis, rayas, tridimensionales, etc.).

Respecto a las causas del enlace químico, algunas respuestas siguen siendo antropológicas como las del grupo anterior, del tipo *“Para que no se queden solos y formen sustancias”*, pero otras pueden ser más avanzadas y explicar la causa del enlace químico desde la estabilidad energética, tal como *“para llegar a 8 electrones en la última órbita”* (variable *causa*).

Del mismo modo, igual que el grupo anterior, no son capaces de comprender los tipos de enlaces químicos a nivel electrónico (variable *enla_2*).

En síntesis, este grupo, requiere de un proceso de entrenamiento y repetición para alcanzar a diferenciar entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. No obstante, esta diferencia no le permite ir más allá de esta asociación lo que hace que no sea enteramente funcional.

3.4 Grupo alto

Este grupo está integrado por quince estudiantes, de los cuales cinco pertenecen a 4^o año de secundaria (1^o año de polimodal): **Vic (15,1)**, **Her (15,3)**, **Nan (15,5)**, **Mat (15,6)**, **Nie (15,7)**, y diez pertenecen a 1^o año de la Universidad: **Mel (18,0)**, **Ric (18,0)**, **Pao (18,2)**, **Bel (18,2)**, **Fac (18,4)**, **Rac (18,5)**, **Gal (18,6)**, **Mas (18,7)**, **Ang (18,9)** y **Flo (18,9)**. El intervalo de rendimiento de este grupo es el más alto y está entre 64 y 76.

Las representaciones gráficas que proponen sobre el aire y el agua, son representaciones atómicas en las que utilizan símbolos arbitrarios para referirse a los átomos que forman las moléculas. Mantienen estas representaciones a lo largo de la entrevista, como se muestra en la figura 24, por ejemplo:

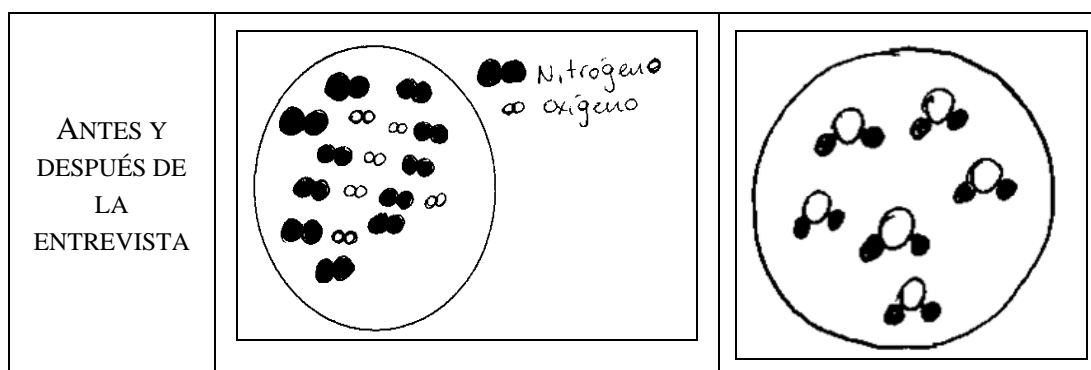


Figura 24. Representaciones gráficas del aire y el agua, antes y después de la entrevista.

Este grupo modeliza las moléculas uniendo los átomos indicados en la fórmula molecular con la forma y estructura adecuada, pero con algunas excepciones. Es decir que, en moléculas tales como el oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, no indican los dobles y triples enlaces, y representan el dióxido de carbono con una estructura geométrica idéntica a la molécula de agua (variable molecu).

Con respecto al significado que otorga este grupo a las estructuras moleculares y macromoleculares frente a las fórmulas químicas que aparecen en una ecuación química, vemos que, a diferencia de los anteriores, prefieren primero escribir las ecuaciones químicas, ajustarlas y, a continuación, armar los modelos de bolas y varillas sin demostrar que estos le aporten más conocimiento del que ya tienen (variable reac_1). Este grupo propone representaciones químicas funcionales. Las interpretaciones de las reacciones químicas que hace este grupo, expresan clara

comprensión del significado de molécula y macromolécula como unidad identificatoria de cada sustancia, (variable reac_2). Así mismo conciben la fórmula empírica monoatómica como la mínima parte de una macromolécula que entra a formar parte de una reacción química (variable macrom).

Este grupo demuestra gran destreza en la interpretación del modelo atómico electrónico, y lo demuestra tanto en diferentes aspectos, por ejemplo: en la relación que establecen entre el símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo, para determinados elementos químicos (variable modele), en la deducción de las configuraciones electrónicas cuando los átomos ganan o pierden electrones (variable iones1) y en las explicaciones que brindan para explicar el enlace químico en diferentes casos y en analizar las relaciones entre los diferentes modelos representacionales: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas (variable mode_2). Del mismo modo, y como es de esperar en un grupo de estas características, estos estudiantes fundamentan la causa del enlace químico con respuestas científicamente correctas, por ejemplo Rac: *“para llegar a 8 electrones en la ultima orbita”* (variable causa) y respecto al proceso del enlace químico, las respuestas incluyen los enlaces o las fuerzas químicas, por ejemplo Rac: *“Por medio de un enlace químico covalente”* (variable enla_2). Así mismo, consideran que el enlace entre dos átomos de oxígeno es diferente del que se forma entre un átomo de cloro y uno de sodio, por ejemplo Rac: *“No, los átomos de oxigeno son no metales y es unión covalente, el cloro es no metal y el sodio metal y tienen unión iónica”*. (variable enla_3), es decir, que comprenden los tipos de enlaces químicos a partir de las configuraciones electrónicas de los átomos constituyentes.

Por tanto, se puede concluir que los estudiantes de este grupo, a diferencia de los grupos anteriores, son capaces de distinguir entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí.

3.5 Conclusiones del comportamiento cognitivo de los grupos de estudiantes

En el apartado anterior, hemos descrito el comportamiento cognitivo de cada grupo de estudiantes, el cual exceptuando algunas fluctuaciones, está bien diferenciado.

1. Los estudiantes del grupo bajo (RAE 1) proponen representaciones gráficas del aire y el agua que contienen tanto elementos macroscópicos como microscópicos. Construyen los modelos de moléculas uniando los “átomos” según el orden de la fórmula molecular, como si ésta reflejara la disposición de los átomos. No relacionan los modelos de moléculas construidos con las fórmulas químicas que los representan a la vez que confunden átomo y molécula; esto hace que no sea posible la representación química con fórmulas. Esto nos permite considerar que no comprenden el significado de molécula y el de macromolécula como unidad identificatoria de cada sustancia, de modo que aunque sean capaces de reaccionar provisoriamente y rectificar ante la advertencia externa, se comprueba que esto no les lleva a una asimilación permanente del concepto de molécula. No tienen elementos para comprender el modelo atómico electrónico, el concepto de ión y el de enlace químico. Esto los conduce a que no tengan las herramientas necesarias para explicar las causas del enlace químico y el proceso del enlace químico.
2. Los estudiantes del grupo medio bajo (RAE 2) parten de representaciones gráficas del aire y el agua en las que mezclan elementos macroscópicos y microscópicos; sin embargo al final de la entrevista proponen otras representaciones que contienen símbolos que significan moléculas de sus componentes. Este grupo construye modelos moleculares siguiendo el dictado figurativo de la fórmula, pero establecen relaciones, en un nivel básico y con ciertos errores, entre estos modelos construidos y las fórmulas químicas que los identifican. Por tanto, aunque pueden confundir átomo y molécula, tras la advertencia del profesor, pueden rectificar y seguir con corrección. No alcanzan la comprensión del modelo atómico electrónico, de modo que aunque hagan los ejercicios relacionados con acierto, muestran que aplican reglas de razonamiento en cierto modo aisladas del conocimiento específico. Al igual que el grupo anterior, son incapaces de comprender el concepto de ión. Se puede concluir que alcanzan un nivel intuitivo inicial de enlace químico sin llegar a comprender su causa, ni cómo se produce.
3. Los estudiantes del grupo medio alto (RAE 3) proponen en un principio, representaciones gráficas moleculares del aire y el agua con símbolos que puedan significar moléculas de sus componentes, sin embargo, al final de la

entrevista, cambian estas representaciones por otras en las que utilizan símbolos químicos para representar los átomos pero sin especificar los enlaces químicos entre ellos. Este grupo construye las moléculas en correspondencia con la fórmula molecular, pero relacionan los modelos contruidos con las fórmulas químicas, mostrando que comprenden el significado de molécula y el de macromolécula. De este modo, para los estudiantes de este grupo es posible la representación química, debido a que establecen una asociación funcional entre la estructura física y la fórmula química que se usa para representarla. El grupo aparenta tener más capacidad para interpretar el modelo atómico electrónico, pues pueden deducir las configuraciones electrónicas de los iones, y explicar el enlace químico en diferentes casos (aunque necesitan ayuda al principio continúan solos, salvo de modo puntual que le hace reaccionar y corregir). Estos progresos se manifiestan en las respuestas de carácter microscópico referidas a la causa del enlace químico.

4. Con respecto a los estudiantes del grupo alto (RAE 4), éstos proponen representaciones gráficas atómicas del aire y el agua, en las que utilizan símbolos arbitrarios para referirse a los átomos que forman las moléculas. A diferencia de los grupos anteriores, este grupo construye los modelos moleculares uniendo los átomos indicados en la fórmula molecular con la forma y estructura adecuada, pero con algunas excepciones. No obstante, para explicar las reacciones químicas, no relacionan estos modelos con las ecuaciones químicas, demostrando así que los modelos no le aportan más conocimiento del que ya tienen. Este grupo manifiesta una clara comprensión del significado de molécula y de macromolécula. Interpretan el modelo atómico electrónico, y lo demuestran en las configuraciones electrónicas de los iones y en las explicaciones que brindan para explicar el enlace químico en diferentes casos y en las relaciones entre los diferentes modelos representacionales. Así mismo, establecen la causa y proceso del enlace químico con respuestas científicamente correctas.

En la tabla 64, a modo de resumen del apartado anterior, se exponen los principales aspectos del comportamiento de los grupos.

	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
1. REPRESENTACIONES GRÁFICAS DEL AIRE Y EL AGUA	ANTES Y DESPUÉS DE LA ENTREVISTA, CONTIENEN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS Y MICROSCÓPICOS	ANTES DE LA ENTREVISTA, CONTIENEN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS Y MICROSCÓPICOS. DESPUÉS CAMBIAN A MODELOS MOLECULARES	ANTES DE LA ENTREVISTA, REALIZAN REPRESENTACIONES MOLECULARES. DESPUÉS CAMBIAN A REPRESENTACIONES ATÓMICAS	ANTES Y DESPUÉS DE LA ENTREVISTA, REALIZAN REPRESENTACIONES ATÓMICAS
2. ESTRUCTURAS FÍSICAS DE MOLÉCULAS	CONSTRUYEN MOLÉCULAS UNIENDO LOS ÁTOMOS SEGÚN EL ORDEN DE LA FÓRMULA MOLECULAR	CONSTRUYEN MOLÉCULAS UNIENDO LOS ÁTOMOS SEGÚN EL ORDEN DE LA FÓRMULA MOLECULAR	CONSTRUYEN MOLÉCULAS UNIENDO LOS ÁTOMOS SEGÚN EL ORDEN DE LA FÓRMULA MOLECULAR	CONSTRUYEN MODELOS CON LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA, PERO HAY EXCEPCIONES
3. RELACIONES ENTRE ESTRUCTURAS FÍSICAS Y FÓRMULAS QUÍMICAS	NO ESTABLECEN RELACIONES	ES POSIBLE POR ENSAYO Y ERROR (NIVEL BÁSICO). LES AYUDA A COMPRENDER LAS FÓRMULAS	ESTABLECEN RELACIONES PERO CON LIMITACIONES Y LOS MODELOS FÍSICOS LES AYUDAN A LA COMPRENSIÓN DE LAS FÓRMULAS QUÍMICAS	RELACIONAN PERFECTAMENTE. LES RESULTA MÁS COMPLEJO TRABAJAR CON MODELOS QUE CON FÓRMULAS QUÍMICAS
4. REPRESENTACIÓN QUÍMICA (FÓRMULAS)	NO ES POSIBLE	ES POSIBLE UN NIVEL BÁSICO REPRESENTACIONAL	ES POSIBLE, PERO CON USO FUNCIONAL LIMITADO	PROPONEN REPRESENTACIONES QUÍMICAS FUNCIONALES
5. SIGNIFICADO, DISTINCIÓN DE ÁTOMO, MOLÉCULA Y MACROMOLÉCULA	No	CON AYUDA, PUEDEN LLEGAR A DISTINGUIRLOS	SÍ, DISTINGUEN	SÍ, DISTINGUEN SIN DUDAS
6. MODELO ATÓMICO ELECTRÓNICO	NO TIENEN ELEMENTOS PARA COMPRENDERLO	APLICAN REGLAS DE RAZONAMIENTO AISLADAS DEL CONOCIMIENTO ESPECÍFICO	PUEDEN LLEGAR A COMPRENDERLO	USO FUNCIONAL DEL MODELO
7. CONFIGURACIÓN DE IONES/CONCEPTO	NO ALCANZAN A COMPRENDER EL CONCEPTO DE ION	NO ALCANZAN EL CONCEPTO DE ION.	PUEDEN LLEGAR A COMPRENDER EL CONCEPTO DE IÓN	USO FUNCIONAL DEL CONCEPTO DE IÓN

8. CONCEPTO/MODELO DE ENLACE QUÍMICO	NO SON CAPACES DE COMPRENDER NINGÚN MODELO DE ENLACE QUÍMICO.	CON AYUDA, PUEDEN ALCANZAR REPRESENTACIONES DE ENLACE QUÍMICO DE BAJO NIVEL.	CON AYUDA, PUEDEN ALCANZAR REPRESENTACIONES DE ENLACE QUÍMICO DE ALTO NIVEL.	USO FUNCIONAL DE MODELOS Y REPRESENTACIONES DE ALTO NIVEL
9. CAUSA DEL ENLACE QUÍMICO	RESPUESTA AUSENTE O QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS.	RESPUESTAS MACROSCÓPICAS.	RESPUESTAS ANTROPOLÓGICAS Y TAMBIÉN MICROSCÓPICAS.	RESPUESTAS RELACIONADAS CON LA ESTABILIDAD ENERGÉTICA.
10. PROCESO DEL ENLACE QUÍMICO	NO LO EXPLICAN.	NO LO EXPLICAN.	NIVEL INICIAL DE COMPRESIÓN	RESPUESTAS QUE INCLUYEN CONCEPTOS RELACIONADOS CON LOS ENLACES QUÍMICOS.
11. EXPLICACIÓN DE LOS TIPOS DE ENLACES QUÍMICOS	CARECEN DE EXPLICACIÓN	CARECEN DE EXPLICACIÓN	RESPUESTAS MACROSCÓPICAS (DISTINTOS TIPOS DE ENLACES) Y MICROSCÓPICAS (ÁTOMOS CONSTITUYENTES)	RESPUESTAS MICROSCÓPICAS CON FUNDAMENTOS EN LA TEORÍA DE ORBITALES ATÓMICOS.

Tabla 64. Principales aspectos del comportamiento de los grupos.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES EXPLICATIVOS SOBRE EL ENLACE QUÍMICO

Grupo 1. No se distingue entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. En consecuencia,

- a) Construyen modelos tridimensionales de moléculas de sustancias químicas, a partir de sus fórmulas moleculares, como si de un juego de construcción se tratara, es decir a merced del dictado figurativo de la fórmula molecular.
- b) No se relacionan los modelos de moléculas construidas con las estructuras estables que identifican a las sustancias químicas: eligen indistintamente átomos y moléculas para identificar a dichas sustancias; por ejemplo, no distinguen entre 2 O y O₂, ni entre nCu y Cu_n. Por lo tanto, no comprenden el significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia.

- c) No hay una asociación entre estructura física y el símbolo químico utilizado para representarla, por lo tanto no es posible la representación química.
- d) No tienen elementos para comprender el modelo atómico electrónico ni el concepto de ión.
- e) No alcanzan a comprender el enlace químico, en ninguno de sus modelos. Son incapaces de dar explicaciones referidas a la causa del enlace químico y, si lo hacen, utilizan elementos antropológicos y respuestas de compromiso.
- f) Este nivel está formado por alumnos de **12 años exclusivamente**.

Grupo 2. En un principio, no distinguen entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Sin embargo, ante una advertencia exterior, les resulta posible rectificar y recordar esta distinción. Por tanto, aparecen los primeros esquemas explicativos directamente relacionados con los enlaces químicos. Esto implica que:

- a) Construyen modelos tridimensionales de moléculas de sustancias químicas a partir de sus fórmulas moleculares y mostrando cierta relación entre los modelos de moléculas construidas con las estructuras estables que identifican a las sustancias químicas: por tanto, aunque en principio elijan indistintamente átomos o moléculas para identificarlas (y puedan confundir $2O$ con O_2 y nCu con Cu_n), ante la advertencia exterior, son capaces de darse cuenta y rectificar.
- b) La comparación de los modelos físicos tridimensionales con las fórmulas moleculares ayuda, a los alumnos de este nivel, a comprender la simbología de las fórmulas moleculares.
- c) Es posible un nivel básico, inicial, de representación química, es decir, hay una asociación nemotécnica entre estructura física y el símbolo químico que se usa para representarla.
- d) Alcanzan, con cierta ayuda, a comprender un modelo básico de enlace químico, pero nunca llega a ser el modelo electrónico.
- e) Aunque necesitan ayuda, pueden deducir la configuración electrónica de los átomos cuando ganan o pierden electrones, aunque esto no significa que

comprendan el concepto de ión. Efectivamente, son incapaces de relacionar las configuraciones resultantes con la causa y el proceso implicado en el enlace químico; al respecto no dan explicaciones o éstas contienen elementos macroscópicos.

- f) A este nivel pueden pertenecer alumnos de **12 (mayoritariamente)** y de 15 años.

Grupo 3. Distinguen, tras la repetición, entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Sin embargo, esta distinción no le permite ir más allá de esta asociación lo que hace que no sea enteramente funcional. Esto implica que:

- a) Construyen modelos tridimensionales de moléculas de sustancias químicas a partir de las fórmulas moleculares, relacionando, con ciertos errores, los modelos de moléculas construidas con las estructuras estables que identifican a las sustancias químicas, y alcanzando la asociación entre molécula y sustancia química.
- b) La comparación de los modelos tridimensionales con las fórmulas moleculares ayuda, a los alumnos de este nivel, a comprender la simbología de las fórmulas moleculares.
- c) Es posible la representación química, es decir hay una asociación funcional entre la estructura física y el símbolo químico que se usa para representarla.
- d) Son capaces de alcanzar un nivel inicial del modelo atómico electrónico.
- e) Alcanzan a comprender un modelo básico de enlace químico de bolas y varillas, y un modelo inicial de enlace químico electrónico. Esto implica que:
 - Con ayuda, relacionan diferentes modelos moleculares (Lewis, rayas, tridimensionales, etc.).
 - Pueden deducir la configuración electrónica de los átomos cuando ganan o pierden electrones, y mostrar, en algunos casos, la comprensión incipiente de dichas configuraciones con la causa del enlace químico.

- Algunas respuestas explican la causa del enlace químico desde la estabilidad energética que origina la formación de enlaces o fuerzas químicas.
- No hay una comprensión, a nivel electrónico, de los tipos de enlaces químicos.
- A este nivel pueden pertenecer alumnos de 12 y **15 años (mayoritariamente)**

Grupo 4. Distinguen entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Además:

- a) Construyen modelos tridimensionales de moléculas de sustancias químicas a partir de las fórmulas moleculares, según la forma y estructura adecuada, pero con algunas excepciones.
- b) Les resulta más compleja la representación física de los modelos construidos que el uso de la simbología más abstracta que interviene en las fórmulas moleculares.
- c) Relacionan perfectamente los modelos de moléculas construidas con las estructuras estables que identifican a las sustancias químicas, es decir hacen una asociación entre molécula y sustancia química.
- d) Uso funcional de las fórmulas químicas, es decir es posible la representación química.
- e) Alcanzan a comprender el enlace químico mediante modelos electrónicos.
 - Pueden relacionar diferentes modelos moleculares de bajo nivel (molecular, bolas y varillas) y modelos de alto nivel (Lewis, rayas).
 - Pueden deducir la configuración electrónica de los átomos cuando ganan o pierden electrones, y mostrar la comprensión de dichas configuraciones con el proceso implicado en el enlace químico.
 - Explican la causa del enlace químico desde la estabilidad energética que origina la formación de enlaces o fuerzas químicas.
 - Explican el proceso del enlace químico con respuestas que incluyen los enlaces químicos.

- Comprenden los tipos de enlaces químicos a partir de las configuraciones electrónicas
- A este nivel pueden pertenecer alumnos de 15 y **18 años (principalmente)**.

5. CONTRASTE DE HIPÓTESIS Y RESULTADOS

En este apartado, analizaremos la validez de las hipótesis planteadas en el apartado 2 del capítulo 4 de la presente investigación.

a) Hipótesis relacionadas con la metodología usada en esta investigación para conocer los esquemas explicativos de los estudiantes.

- **H.1 Es posible, usando una metodología adecuada, alcanzar los sucesivos niveles explicativos relacionados con el enlace químico que los estudiantes construyen en interacción con el sistema educativo.**

En esta investigación, la metodología utilizada ha permitido conocer y proponer cuatro niveles explicativos para el contenido de enlace químico, lo que nos permite tener una imagen evolutiva de la construcción del conocimiento del estudiante en esta área particular. De esta manera, la hipótesis planteada queda corroborada.

- **H.2 No todas las respuestas de los estudiantes son útiles para conocer sus esquemas explicativos. Muchas de las mismas son de compromiso, al azar y por lo tanto reflejan su desconocimiento.**

Esta hipótesis puede ser estudiada si tenemos en cuenta que el conocimiento del estudiante no es observable y que nos aproximamos a él paulatinamente a través del análisis de las respuestas significativas, formas explicativas, esquemas explicativos y niveles explicativos. De esta manera y, por medio del análisis estadístico, hemos podido identificar las siguientes variables significativas: MOLECU, ENLA_1, ENLA_2, ENLA_3, MODELE, IONES1, CAUSA, MODE_2 y RAE, frente a las que han sido identificadas como no significativas o menos significativas, tales como REAC_1, REAC_2, REAC_3, AIRE_A, AIRE_B, AGUA_A, AGUA_B, MACROM, ACIE_A y ACIE_D. Por tanto, las respuestas contenidas en el primer grupo de variables, son significativas, esto es, parecen proceder de la activación de

los esquemas cognoscitivos de los estudiantes. Sin embargo, las procedentes del segundo grupo no lo son o lo son menos, de modo que, el estudiante, ante la autoridad académica que le hace preguntas, da respuestas de compromiso o de azar. Frente a las primeras, estas últimas respuestas no nos permiten determinar los esquemas explicativos de los estudiantes.

H.3 Los esquemas explicativos de los sujetos, como reflejo de su verdadero conocimiento, muestran que éste evoluciona coherentemente con sus capacidades cognitivas.

Podemos comprobar esta hipótesis comprobando si las correlaciones bivariadas entre los esquemas explicativos y las variables del sujeto (edad y nivel educativo, en esta investigación) son mayores que las correlaciones bivariadas entre las variables no significativas y las variables del sujeto.

En la siguiente tabla 65, se observan dichas correlaciones. En vertical (columnas 3 y 4) se han situado las variables del sujeto. En horizontal, se han situado las variables no significativas AIRE_A, AIRE_B, AGUA_A, AGUA_B, MACROM, ACIE_A y ACIE_D y posteriormente los esquemas explicativos (obtenidos a partir de las variables significativas). Se observa que las correlaciones de los esquemas explicativos son suficientemente más elevadas que las de las variables no significativas.

		VARIABLES DEL SUJETO	
		EDAD	NIVEL EDUCATIVO (CURSO ACADÉMICO)
VARIABLES NO SIGNIFICATIVAS	AIRE_A	0,522	0,599
	AIRE_B	0,409	0,391
	AGUA_A	0,212	0,288
	AGUA_B	-0,031	-0,019
	MACROM	0,329	0,204
	ACIE_A	0,067	0,079
	ACIE_D	0,160	0,223
VARIABLES SIGNIFICATIVAS	ESQUEMAS EXPLICATIVOS (RAE)	0,831	0,823

Tabla 65. Correlaciones entre las variables no significativas y los esquemas explicativos con las variables del sujeto (edad y nivel educativo).

b) Hipótesis fundamentadas en las investigaciones sobre concepciones en el área de enlace químico

- **H.4 Existe un paralelismo entre la progresión del conocimiento de los estudiantes en el área del enlace químico y el desarrollo filogenético en dicha área.**

Esta hipótesis puede ser estudiada al tener en cuenta algunas explicaciones que brindan los estudiantes en las que evocan pensamientos que se dieron durante la historia de la ciencia.

Así, como ejemplo, nos referimos a las ideas de los estudiantes acerca de la causa y del proceso del enlace químico, algunas de las cuales incluyen componentes antropológicos. Por ejemplo, Cat y Jul, que pertenecen al nivel explicativo 1, consideran que los átomos se unen *“porque son chiquititos”*; del mismo modo, Jos, también del nivel explicativo 1, responde: *“para no estar solos”*. Esta tendencia se sigue manifestando, pero en menor medida, entre algunos estudiantes de los niveles explicativos 2 y 3.

Este tipo de ideas, en las que atribuyen a los elementos químicos capacidades humanas, coinciden con las explicaciones más antiguas para la ocurrencia de interacciones entre las sustancias, es decir propiedades antropomórficas que fueron propuestas por Empédocles e Hipócrates en el siglo V (Balocchi, 2005).

Sin embargo, este tipo de ideas desaparecen entre los estudiantes del nivel explicativo 4, pues sus respuestas coinciden con las más recientes desde el punto de vista científico. Así, Vic, Mat, Nie, Ric, Fac, Gal, Mas y Flo entre otros, responden que los átomos se unen *“para estabilizarse, para completar el octeto electrónico”*, o bien *“para parecerse a los gases nobles porque estos son estables”*. En referencia al proceso del enlace químico, consideran que se lleva a cabo *“por atracción de electrones, para completar el octeto”*.

Otra de las ideas históricas que han aparecido en las respuestas de los estudiantes es la concepción sustancialista caracterizada por una asociación entre las formas microscópicas y las propiedades de los cuerpos correspondientes. Así, entre las respuestas de los estudiantes, especialmente del nivel explicativo 1, se observa una tendencia a adjudicar

a los átomos y partículas, propiedades semejantes a las propiedades de las sustancias. Por ejemplo, Fra, en relación al modelo de bolas y varillas del agua, representa al átomo de hidrógeno entre las esferitas que representan a los átomos de oxígeno justificándolo de la siguiente manera: *“porque el O está mezclado en el agua, o sea está el agua y entre medio está el oxígeno y se ven las burbujas...”* A lo que agrega: *“si hay 2 personas, una puede respirar por este lado (se refiere a un extremo de la molécula de agua) y la otra por este (es decir por el otro extremo), pero siempre va a ver agua entre medio (se refiere al oxígeno), el oxígeno siempre va a estar. A ver... largamos oxígeno de abajo para arriba... a ver suponte que estás nadando y vos largas el aire abajo, entonces antes de que llegue el aire hasta la superficie, vamos a encontrar agua. Entonces por eso lo represento así... A ver... porque están mezclados.... Para mí en el agua están mezclados el hidrógeno con el oxígeno, por eso es así la molécula.”* De manera similar, Gua, se refiere al enlace del carbono grafito con el oxígeno como *“blandito como el grafito...”* considerando que el enlace es “blandito” porque asemeja esta característica a la del grafito.

Estas ideas recuerdan a las concepciones de Sennert, Descartes y Lemery, (manifestadas en el capítulo 2) es decir pensamientos que mezclan el sistema macroscópico con el sistema microscópico. Al respecto, Sennert considera que los elementos (átomos), se diferencian entre sí según su forma sustancial, de tal manera que es la forma sustancial de cada tipo de átomo se pone de manifiesto en las propiedades de los cuerpos correspondientes.

Otro aspecto de interés que ha surgido repetidas veces en la investigación es la consideración de Sennert sobre el concepto de mezcla y sustancia pura. Según Sánchez y otros (2003), éste autor consideraba que la mezcla de más de un tipo de átomos da lugar a los cuerpos compuestos mientras que las sustancias puras están formadas por un solo tipo de átomos.

Al respecto, los estudiantes de los niveles explicativos 1 y 2, consideran también que el conjunto de átomos diferentes constituye una mezcla y, el conjunto de átomos iguales, constituye una sustancia pura. Así, estudiantes del nivel explicativo 1, por ejemplo Cat considera que *“como tiene 2 colores, (se refiere a las esferitas) sería una mezcla”* y las que considera sustancia

pura, justifica diciendo que *“como son todas iguales (se refiere a las esferitas) es pura”*. Del mismo modo, Jul justifica: *“para mí todas las que están del mismo color son sustancias puras y las de color diferentes son mezclas”*.

Estas consideraciones se detectan sólo de forma aislada entre estudiantes del nivel explicativo 3. Así, Gab dice: *“...es mezcla porque está representada por 2 esferitas de diferentes colores o sea que es como el H con el O que se mezclan y forman el agua”*. Sin embargo, estos estudiantes, bien conducidos, pueden llegar a superar esta dificultad.

Entre los estudiantes del nivel explicativo 4, esta concepción histórica no aparece. Estos dan respuestas que coinciden con las ideas científicas recientes. Por ejemplo, Fac señala: *“las sustancias puras, son cuando tienen un componente, y las moléculas son iguales entonces; en cambio las mezclas son las que tienen varios componentes, o sea moléculas diferentes”*; por su parte Rac, sostiene: *“sabemos que las sustancias puras son las que están formadas por un solo componente o sustancia y que las mezclas, están formadas por 2 o más componentes.”*

- **H.5 El conocimiento de los esquemas explicativos de los estudiantes sobre el enlace químico permite articular adecuadamente las dificultades encontradas en las investigaciones anteriores sobre concepciones en esta área.**

Los distintos niveles explicativos encontrados en esta investigación, nos permite conectar, en la progresión cognitiva, las dificultades registradas en las investigaciones sobre concepciones en el contenido de enlace químico. De esta manera, los profesores conocerían las dificultades más habituales en las distintas etapas del proceso de enseñanza. Por consiguiente, identificaremos las principales concepciones y dificultades de aprendizaje citadas en el apartado 3.3 del capítulo 2, y señalaremos los niveles explicativos a los que se asocian.

- Los estudiantes poseen una visión continua de la materia o visión particular de la misma, es decir, considerada como una estructura con partículas en la que no hay espacio entre las mismas, es decir que están muy juntas, sin huecos, o bien hay otra sustancia (Boo, 1998; Benarroch Benarroch, 1989). Esta concepción podría ser característica de los

estudiantes de los niveles explicativos 1 y 2 y estaría regida por la percepción de la materia. De ellos, los estudiantes del nivel 2, al tener mayor capacidad operatoria, bien dirigidos, pueden alcanzar a proponer representaciones de la materia que contienen símbolos que significan moléculas.

- Muchos estudiantes suponen que, para que se produzca un enlace, es imprescindible suministrar energía; de este modo, no conciben la formación de enlace químico como proceso espontáneo (Boo, 1998). Esta concepción puede presentarse en los niveles explicativos 1 y 2, pues los estudiantes de este nivel justifican, generalmente, la causa del enlace químico con respuestas macroscópicas, guiados por las percepciones cotidianas. Así mismo, otros estudiantes sostienen que una de las causas de formación del enlace es completar el octeto electrónico (Zamora Barranco y otros, 2004), idea que podemos atribuir a estudiantes de los niveles explicativos 3 y 4, quienes brindan respuestas microscópicas.
- Boo (1998) considera que algunos estudiantes tienen la concepción errónea de que cuando una sustancia cambia de estado de agregación experimenta la ruptura del enlace covalente intramolecular en vez del enlace intermolecular. Esta concepción puede presentarse en los niveles 1, 2 y 3, con diferente grado de importancia. Es decir, es esperable esta concepción en el nivel 1, donde los estudiantes no distinguen entre átomo y molécula, y no admiten el significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia. En el nivel 2, también puede presentarse, ya que en este nivel los estudiantes todavía pueden confundir átomo y molécula, aunque, advertidos por el profesor, pueden corregir y comenzar a superar esta dificultad. Los estudiantes del nivel 3, si bien comprenden el significado de molécula, tienen dificultades de carácter específico, referidas a enlaces químicos, por lo que en este nivel es esperable la superación de esta dificultad.
- Los alumnos generalmente no diferencian entre subíndices, supraíndices (cargas de los iones) y coeficientes estequiométricos (De Posada, 1993). Concretamente, tienen dificultad para determinar las cargas de los iones. Por ejemplo, en la unión entre sodio y oxígeno, en

lugar de indicar los iones como: $2\text{Na}^+ \text{O}^{2-}$, los alumnos indican que los iones que se forman son: $2 \text{Na}^{2+} \text{O}^{2-}$. Es decir colocan “2+” como carga total de los 2 iones sodio, pues argumentan que son 2 los electrones que se pierden. También confunden la notación utilizada para indicar la cantidad de átomos. Siguiendo con el ejemplo de la unión iónica de los dos átomos de sodio con el átomo de oxígeno, algunos estudiantes indican los iones formados de la siguiente manera: $\text{Na}_2^+ \text{O}^{2-}$. En la unión covalente de dos átomos de cloro con un átomo de oxígeno, indican correctamente el enlace según el modelo de Lewis pero la dificultad aparece cuando tienen que representar la fórmula molecular, que en este caso la representan como 2ClO . Algo similar ocurre para la molécula de oxígeno cuya fórmula molecular la describen como 2O . Estas dificultades y concepciones son características de los niveles 1 y 2. En el nivel 1, porque no alcanzan ningún tipo de representación química. En el 2, porque, aún cuando sea posible un nivel básico representacional, éste no es nunca de carácter electrónico lo que impide la comprensión del concepto de ión. Hay que aclarar que es posible que una respuesta de este tipo se manifieste también en alumnos del nivel 3, pero obedece a dificultades de carácter específico, por lo que en este nivel es de esperar la superación de las mismas.

- Existe la concepción errónea de que el resultado de la atracción de las cargas opuestas (iones) producirá la cancelación de dichas cargas o la neutralización, dando como resultado la formación de una molécula neutra (Boo, 1998). Así mismo, muestran la concepción alternativa de la existencia de moléculas iónicas (De Posada 1993; Tan y Treagust, 1999; Coll y Treagust, 2001; Coll y Treagust, 2003a; Valcárcel Pérez y otros, 2005). Estas concepciones pueden manifestarse en estudiantes de los niveles explicativos 1 y 2, por las mismas causas argumentadas en el párrafo anterior. También podrían aparecer en el nivel 3, pero en este caso tienen su origen en la forma convencional que escribimos la fórmula de los compuestos iónicos, reforzando la tendencia a considerar la existencia de moléculas iónicas.
- El enlace entre átomos diferentes es justificado por los alumnos en el carácter no metálico y metálico de ambos elementos, o en su posición alejada en la tabla periódica (Valcárcel Pérez y otros, 2005). Esta idea

podría ser característica de los estudiantes de los niveles 2 y 3, pero habría que prestar especial atención en los estudiantes del nivel 3, pues ha quedado fuera de esta investigación saber si éstos son capaces de relacionar el enlace entre átomos diferentes considerando otros parámetros, como electronegatividades y afinidades electrónicas.

- Se observa que es difícil para los estudiantes convertir, pasar de un modelo o representación a otro. En el enlace covalente, por ejemplo, entre el átomo de nitrógeno y los tres átomos de hidrógeno, realizan la representación de Lewis, pero luego no pueden hacer la conversión al diagrama de rayas. En ese caso lo representan como: $N-H_3$ es decir un átomo de nitrógeno unido por un solo enlace covalente simple a tres átomos de hidrógeno, o bien nitrógeno unido con enlace triple a un solo átomo de hidrógeno, $N\equiv H$. Esta dificultad está particularmente presente en los estudiantes de los niveles 1 y 2, por lo dicho dos párrafos más arriba, pero será en el nivel 3 donde será necesario prestarles una atención preferente por ser el nivel en el que su superación es posible, y, por tanto, deseable.
- La mayoría de los estudiantes relacionan los puntos de fusión de las sustancias con su naturaleza, con referencias más o menos precisas a la composición y/o estructura (Zamora Barranco y otros, 2004). Estas ideas son propias de todos los niveles y especialmente importantes en los estudiantes del nivel explicativo 4, quienes pueden establecer relaciones entre los tipos de enlaces de las sustancias y sus respectivas propiedades.
- **H.6 El conocimiento sobre enlaces químicos sirve para solucionar algunas dificultades que hay en el estudio de la materia, por ejemplo: la diferencia entre mezclas y sustancias.**

El análisis realizado sobre las variables ACIE_A y ACIE_D, en las que el estudiante debía clasificar nueve sustancias, en sustancias puras y mezclas, antes de comenzar la entrevista y al final de la misma, respectivamente, revela que la media de los resultados de ACIE_D es ligera pero significativamente mejor que la media de los resultados de ACIE_A. Esto nos permite afirmar que el conocimiento sobre enlaces químicos alcanzado en la entrevista, ayuda a los alumnos a mejorar su capacidad de identificar

gráficamente sustancias puras y mezclas, de manera tal que la hipótesis queda confirmada.

Por otra parte, los datos obtenidos de las variables AIRE_A, AIRE_B, AGUA_A y AGUA_B que respectivamente, categorizan las respuestas gráficas de los estudiantes referidas a las representaciones microscópicas del aire y el agua, al principio de la entrevista y al finalizar la misma, revelan que el proceso de instrucción que hay implícito en la entrevista ayuda a los alumnos a mejorar su capacidad de representación gráfica del aire y el agua.

Por tanto, se puede presumir que un modelo de enseñanza-aprendizaje fundamentado en el proceso de instrucción que hay implícito en la entrevista, podría ser efectivo a la hora de solucionar algunos de los problemas didácticos más básicos que existen en el área de la enseñanza-aprendizaje de la Química (Furió y Domínguez, 2007; Caamaño, 2003)

- **H.7 Los modelos físicos de bolas y varillas pueden ayudar en la construcción de los esquemas explicativos de los alumnos en el área del enlace químico.**

Según nuestra investigación, los alumnos del nivel 1 prácticamente no alcanzan a comprender el concepto de átomo y molécula, con todas las implicaciones que esto significa. Tampoco comprenden el significado de lo que se está haciendo en la entrevista, se aburren soberanamente y cuando esto ocurre es porque la demanda cognitiva del contenido sobrepasa sobremanera las capacidades cognoscitivas de los aprendices. Por consiguiente, es igual que se trabaje con modelos concretos de bolas y varillas o no, no se van a conseguir cambios.

Por el contrario, los alumnos del nivel 2 están capacitados cognitivamente y, con ayuda, pueden llegar a construir un modelo incipiente de enlace químico. La construcción de modelos concretos de bolas y varillas puede ser fundamental para estos alumnos pues les aporta una referencia física a conceptos abstractos, intangibles y difíciles.

Asimismo, estos modelos concretos podrían ser útiles para la enseñanza de este contenido a los alumnos del nivel 3, pues, aunque están capacitados para llegar a construir un modelo electrónico de enlace químico, tienen

grandes lagunas y problemas de conversión entre modelos, así como entre éstos y el mundo macroscópico. La presencia en el aula de átomos, moléculas y representaciones microscópicas de los cuerpos reales son útiles para materializar estas conversiones de modelos.

De acuerdo a lo expresado, consideramos que los modelos físicos de bolas y varillas realmente contribuirían al aprendizaje de los estudiantes de los niveles 2 y 3.

- **H.8 Las imágenes usadas por los estudiantes para explicar el enlace químico están relacionadas con las imágenes usadas en la enseñanza de este contenido.**

Comprobar esta hipótesis requiere del análisis de las imágenes construidas por los estudiantes, que puedan ser representativas de cada nivel explicativo, y las imágenes externas usadas en la enseñanza, llegando a establecer conclusiones sobre la conveniencia de las mismas o la necesidad de modificaciones significativas.

En el capítulo 3 de esta investigación se ha realizado el análisis de las representaciones o imágenes utilizadas en los libros de texto (y que suponemos que se utilizan en la enseñanza de los enlaces químicos), manifestándose una amplia variedad de modelos para describir y ejemplificar los enlaces en todos los niveles analizados (Matus, Benarroch y Perales, 2008; Benarroch, Matus, Perales y Nappa, 2008). Agrupando estos modelos o imágenes, según exijan o no la comprensión de la configuración electrónica de los átomos, es decir modelos de alto o bajo nivel, respectivamente, se ha encontrado que en EGB 3 (12 años fundamentalmente) la tendencia más generalizable apunta a modelos atómicos de bajo nivel, a los que se ha asociado las imágenes correspondiente a dibujos figurativos, bolas y varillas, bolas, varillas y fusionado, es decir modelos que utilizan un lenguaje gráfico. En los libros de Polimodal (15 años fundamentalmente) ocurre lo contrario, pues la tendencia mayoritaria son modelos atómicos de alto nivel, asociados a representaciones de Lewis, rayas y niveles electrónicos, esto es, modelos que utilizan un lenguaje formal. Este formalismo se agudiza en los libros universitarios, donde son frecuentes los modelos atómicos cuánticos.

Es decir, todo parece indicar que los autores de libros de texto eligen modelos con lenguajes gráficos o modelos moleculares que no requieren configuraciones electrónicas para los alumnos de 12 años. Sin duda en esta etapa de la escolaridad, el objetivo es mostrar los átomos unidos de alguna manera, dando una idea sencilla de enlace químico. Con respecto a los alumnos de la segunda etapa de la enseñanza secundaria (quince a diecisiete años), los autores de los libros de texto prefieren los modelos con lenguajes más formales y complejos o modelos que requieren configuraciones electrónicas, del mismo modo que para alumnos universitarios.

Por otra parte, en la investigación realizada con el conocimiento de los estudiantes, se ha encontrado que los estudiantes del nivel explicativo 1 (formado por alumnos de 12 años), no representan modelo alguno de enlace químico. Los estudiantes del nivel explicativo 2 (formado en su mayoría por alumnos de 12 años y algunos de 15), construyen modelos de bolas y varillas que son capaces de relacionar con las unidades constituyentes de las sustancias químicas. Los estudiantes del nivel explicativo 3 (constituido mayormente por estudiantes de 15 años y algunos de 12), dan significado funcional a los modelos de bolas y varillas y son capaces de alcanzar además un modelo inicial electrónico. Finalmente, los estudiantes del nivel explicativo 4 (integrado en su mayoría por estudiantes de 18 años y algunos de 15), alcanzan a utilizar con funcionalidad los modelos electrónicos.

De acuerdo a lo anterior, podemos resaltar que:

- Estamos conformes con los autores de los libros de texto de EGB 3 (1^o, 2^o y 3^o año de secundaria) en que la enseñanza a estos niveles se debe limitar a los modelos de bajo nivel. Estos modelos facilitan el aprendizaje a través de analogías con la realidad y evocando hechos cotidianos, a la vez que utilizan un lenguaje gráfico cercano al conocimiento de los estudiantes de este nivel educativo. En este nivel hay que reforzar las relaciones entre el conocimiento macroscópico de la materia y su interpretación simbólica, limitando esta simbología a la identificación de los átomos y moléculas constituyentes de la materia, sin alcanzar el modelo atómico electrónico ni modelo alguno de enlace químico electrónico.

- Los autores de los libros de Polimodal (4^o, 5^o y 6^o año de secundaria), deberían comenzar a referirse a los modelos de alto nivel, pero es necesario hacer hincapié en que los estudiantes van a hacer un uso limitado de estos modelos, como lo demuestran los resultados obtenidos con los que conforman los niveles explicativos 2 y especialmente del 3. Sin embargo, es necesario que los libros de texto realicen las comparaciones y transformaciones correspondientes entre estos modelos y además con los modelos de bajo nivel. Es decir, una misma imagen que contenga varias representaciones conjuntas, varios modelos y que se indiquen las equivalencias y diferencias existentes entre ellas, además de proponer el trabajo en forma alternada con diferentes tipos de representaciones y modelos. De este modo, se favorecería la conversión entre diferentes representaciones, produciendo una comprensión efectiva e integradora, que posibilita la transferencia de los conocimientos aprendidos y genera resultados efectivos (Egret, 1989; Duval, 1991, citado en García García y Perales Palacios, 2006). Haciéndolo así, las diferentes representaciones en los libros de texto de este nivel, se constituirán en puentes para el aprendizaje significativo de los modelos atómicos electrónicos.
- Por último, la enseñanza de los modelos de alto nivel que involucran un lenguaje formal termina siendo realmente efectiva entre los alumnos universitarios que han alcanzado el nivel explicativo 4, pero, como se ha puesto de manifiesto en esta investigación, los estudiantes tienen aún lagunas y disfunciones derivadas de la necesidad de una enseñanza que insista en la adecuada coherencia entre las formas de representación de la materia.

c) Hipótesis destinadas a validar el modelo cognitivo propuesto

- **H.9 Los esquemas explicativos de los estudiantes pueden ser interpretados en función de tres elementos interrelacionados, existentes en su estructura cognitiva: los elementos figurativos, los esquemas operatorios y los esquemas específicos.**

En esta investigación uno de los objetivos más importantes, es alcanzar interpretaciones e incluso predicciones sobre el conocimiento del alumno en

el contenido del enlace químico. Para ello, se han definido los esquemas explicativos, que son los elementos más cercanos a la cognición del sujeto, pero situados en el plano de las reacciones del mismo.

Nuestros resultados nos permiten sostener que:

- Los estudiantes del nivel 1 tienen cierta incapacidad operatoria para poder distinguir entre el todo y las partes, entre lo macroscópico y lo microscópico. Esto les lleva a no ser capaces de asimilar los conocimientos específicos que se le enseñan durante la entrevista.
- Los estudiantes del nivel 2, si bien al principio se comportan como los del nivel 1, posteriormente muestran un comportamiento muy superior. Esto nos lleva a suponer que la mayor capacidad operatoria (conocimiento operativo, razonamiento) les permite la asimilación de los conocimientos que se le enseñan durante la entrevista y que en consecuencia experimentan un enriquecimiento de los esquemas específicos internos que actúan posteriormente como verdaderos esquemas de asimilación.
- Los estudiantes del nivel 3, ya no presentan grandes barreras operatorias, pero sí de carácter específico. Esto nos lleva a considerar que en estos alumnos es necesario trabajar más los enlaces químicos, desarrollar distintas representaciones que respondan a distintos modelos atómicos, analizar las semejanzas y diferencias entre las mismas, y enriquecer sus esquemas específicos.
- En los alumnos del nivel 4, se eliminan las barreras operatorias e incluso las específicas, por lo que estos estudiantes no presentan grandes barreras cognoscitivas para el aprendizaje significativo de los contenidos considerados en esta investigación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DIDÁCTICAS

En este apartado sintetizaremos las conclusiones más significativas de esta investigación teniendo en cuenta los objetivos planteados en el capítulo 1 y estableceremos también algunas recomendaciones didácticas.

1. En relación al análisis de las representaciones del enlace químico en los libros de texto, es destacable la diversidad de imágenes utilizadas en todos los niveles analizados (12, 15 y 18 años). Para poner cierto orden en este aparente caos, se ha utilizado una agrupación que ha resultado útil en la investigación (ver tabla 8, capítulo 3), y que ha consistido en clasificar las imágenes en dos grandes grupos: las que requieren para su comprensión el conocimiento de la configuración electrónica de los átomos constituyentes, o modelos de alto nivel, y las que no lo requieren, llamados también modelos de bajo nivel. Las primeras utilizan un lenguaje formal y las segundas un lenguaje gráfico. Así, los autores de los libros de texto de 12 años, acuerdan mayoritariamente por representaciones figurativas, de bolas y varillas, entre otras, que involucran lenguaje gráfico. Por el contrario, los autores de los libros de texto de 15 años proponen representaciones de Lewis, rayas o de niveles electrónicos, esto es, imágenes que implican un lenguaje formal. Este lenguaje formal es aún más destacado en el nivel universitario, donde son frecuentes las representaciones de enlaces químicos que implican un modelo atómico cuántico.

2. En relación a la metodología utilizada para indagar en el conocimiento del estudiante, cabe destacar las siguientes conclusiones:
 - El cuestionario, que se conforma como el conjunto de preguntas fijas utilizadas en las entrevistas, se ha mostrado como un instrumento útil en la indagación del conocimiento del estudiante en el área del enlace químico, pues ha permitido discriminar a los estudiantes por niveles explicativos. Los elementos claves de su construcción son: a) dentro de cada tarea, diversificación de las sustancias químicas consideradas (mecanismo de repetición y generalización) y b) a través de las sucesivas tareas, un aumento progresivo de las exigencias cognoscitivas implicadas (mecanismo de diferenciación). Con estos elementos se consigue activar la metacognición del estudiante y favorecer la obtención de respuestas más significativas. También hay que apuntar como inconveniente el largo tiempo requerido para su aplicación.

 - Asimismo, la categorización empírica realizada sobre las respuestas de los alumnos, junto al análisis estadístico multivariable, y la posterior categorización estructural, son también mecanismos útiles para seleccionar

las respuestas más significativas, y constituyen en consecuencia, junto al diseño ya citado del cuestionario, una unidad metodológica eficaz en la identificación de las progresiones del aprendizaje.

3. Gracias a la anterior metodología, ha sido factible jalonar el conocimiento de los estudiantes, en relación al enlace químico, en 4 niveles explicativos cuyas características fueron detalladas oportunamente, y que aquí reproducimos únicamente con sus elementos más destacados:

Nivel 1: No se distingue entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí.

- No es posible la representación química
- No es posible la comprensión del enlace químico en ninguno de sus modelos.
- Este nivel está integrado exclusivamente por estudiantes de 12 años.

Nivel 2: En un principio, no se distingue entre la unión fuerte de los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Sin embargo, con ayuda, resulta posible rectificar y asimilar esta distinción.

- Es posible un nivel inicial de representación química
- Es posible un nivel inicial de comprensión del enlace químico, pero nunca llega a ser el modelo electrónico o de alto nivel.
- Este nivel está integrado mayormente por estudiantes de 12 años y algunos de 15.

Nivel 3: Distinguen, tras la repetición, entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí. Sin embargo, esta distinción no le permite ir más allá de esta asociación lo que hace que no sea enteramente funcional.

- Es posible la representación química molecular.

- Alcanzan a comprender un modelo de enlace químico de bajo nivel, y un modelo inicial de enlace químico electrónico o de alto nivel.
- Este nivel está integrado mayormente por estudiantes de 15 años y algunos de 12.

Nivel 4: Distinguen entre la unión fuerte entre los átomos que forman una molécula y la unión más débil que liga las moléculas entre sí.

- Es posible la representación química molecular e iónica.
- Alcanzan a comprender el enlace químico mediante modelos electrónicos
- Nivel conformado mayormente por estudiantes de 18 años y algunos de 15.

Por tanto, en la presente investigación se concluye que los estudiantes del nivel explicativo 1 (formado por alumnos de 12 años), no alcanzan a comprender modelo alguno de enlace químico. Los estudiantes del nivel explicativo 2 (formado en su mayoría por alumnos de 12 años y algunos de 15), son capaces de adquirir modelos rudimentarios de enlaces químicos de bajo nivel. Los estudiantes del nivel explicativo 3 (constituido mayormente por estudiantes de 15 años y algunos de 12), están potencialmente preparados para aprender un modelo inicial de enlace químico electrónico, o modelos de alto nivel. Finalmente, los estudiantes del nivel explicativo 4 (integrado en su mayoría por estudiantes de 18 años y algunos de 15), están capacitados para comprender los modelos electrónicos cuánticos.

4. El análisis de la coherencia entre los modelos implicados en los libros de texto y las capacidades de aprendizaje de los alumnos exige considerar, para estos últimos, sus edades más que sus niveles explicativos. Así, los estudiantes de 12 años se distribuyen entre los niveles explicativos 1, 2 y 3, siendo mayoritario el 2. Los estudiantes de 15 años pueden quedar ubicados en los niveles 2, 3 ó 4, siendo mayoritario el 3. Los estudiantes de 18 años, en esta investigación, han quedado ubicados en el nivel 4.

Estos resultados nos permitirían considerar que, en un porcentaje no despreciable del 70%, hay coherencia entre las imágenes de los libros de texto y los niveles explicativos de los estudiantes de 12, 15 y 18 años. Sin embargo, tanto para los autores de los libros de texto, como para el profesorado que debe negociar significados en un aula de edad concreta, el conocimiento de las progresiones de aprendizaje que se aporta con esta investigación resulta de valor extremadamente útil para a) identificar el estatus cognoscitivo de partida de sus alumnos, b) guiarlos adecuadamente en el camino de su aprendizaje y c) plantearse objetivos de aprendizaje reales y adaptados a las capacidades de su alumnado.

5. La interpretación de los niveles explicativos de los estudiantes en relación con el enlace químico desde un modelo cognoscitivo que propugne su carácter externo al sujeto y su dependencia de esquemas internos de dos tipos, operatorios y específicos, permite, además, concluir que, excepto los estudiantes del nivel 1 que tienen ciertas limitaciones operatorias, todos los estudiantes de los restantes niveles tienen dificultades específicas. En concreto, entre los alumnos del nivel 2 hay que trabajar intensamente la asociación nemotécnica sustancia=partícula constituyente, o, lo que es lo mismo, la identificación de cada sustancia material mediante las partículas o moléculas constituyentes, no resultando tan importante el nivel atómico. Sin embargo, entre los alumnos del nivel 3, hay que trabajar, además de la anterior asociación, la que relaciona moléculas y átomos constituyentes (niveles macroscópico, molecular y atómico). Por último, de acuerdo con los resultados de esta investigación, se prevé que son los alumnos del nivel 4 los que consiguen hacer de estas relaciones verdaderos esquemas de asimilación de nuevos contenidos de enseñanza.
6. Las numerosas investigaciones realizadas sobre las concepciones de los estudiantes en el área del enlace químico, sólo revelan información acerca del conocimiento declarativo diagnosticado en los estudiantes en un momento dado, dejando sin abordar el verdadero estatus que ocupan en la progresión del aprendizaje. En esta investigación se ha conseguido ubicar estas dificultades en determinadas posiciones de este progreso cognoscitivo, con la ventaja que ello supone para un buen proceso de enseñanza, ya que permite al profesorado

disponer de ciertos criterios para seleccionar las dificultades que sería deseable superar en cada nivel de enseñanza.

7. El proceso de instrucción que hay implícito en el cuestionario usado en esta investigación, podría ser efectivo a la hora de solucionar algunos de los problemas didácticos más básicos que existen en el área de la enseñanza-aprendizaje de la Química (Furió y Domínguez, 2007; Caamaño, 2003), como es la diferenciación entre mezcla y sustancia pura.

Implicaciones didácticas

A partir del conocimiento de los sucesivos niveles explicativos, expresaremos en este apartado algunas sugerencias útiles para optimizar la enseñanza y el aprendizaje de los enlaces químicos.

1. En primer término, hay que destacar que la edad no es predictora exacta de los niveles explicativos sobre enlace químico. Específicamente, los alumnos de 12 y 15 años son los que presentan una dispersión más amplia de niveles explicativos sobre el enlace químico. Por los resultados obtenidos, consideramos que las diferencias siguen siendo importantes hasta los 17 años. En este sentido, hay que tener en cuenta que, en un mismo curso escolar, las capacidades cognitivas en esta área son desiguales, con lo cual es esperable una diversidad de respuestas y una diversidad de potencialidades de aprendizaje.
2. La construcción manipulativa de modelos de bolas y varillas por parte de los alumnos de moléculas y macromoléculas puede ayudar, si es bien conducida por el profesorado, a los estudiantes de los niveles explicativos 2 y 3 (alumnos de 12 y 15 años fundamentalmente) a avanzar en su progresión cognoscitiva en el área.
3. Existe relación entre las imágenes de los libros de texto, usadas en la enseñanza de los enlaces químicos, con las múltiples dificultades que muestran los estudiantes en el aprendizaje de este contenido y los modelos propuestos por aquéllos. En este aspecto, es recomendable considerar:

- Los enlaces químicos requieren de un alto nivel de abstracción y modelización y, en función de cómo se empleen las imágenes, éstas facilitarán o dificultarán la comprensión de este contenido.
- El carácter polisémico de las imágenes hace que sea difícil predecir cuál va a ser la interpretación que el estudiante va a realizar sobre una determinada representación, con lo cual se hace imprescindible la orientación del profesor.
- Fomentar entre los profesores y en el aula la relación entre texto e imagen, máxime teniendo en cuenta nuestros estudios de los libros de texto, que nos permiten afirmar que es insuficiente la conexión entre texto e imágenes, tal vez fundamentada en una exagerada confianza respecto a la facilidad con que procesamos las imágenes.
- Programar actividades específicas cuyo objetivo sea optimizar los efectos positivos que las imágenes o representaciones tienen sobre el aprendizaje. Estas actividades orientadas a la lectura de las imágenes deberían enfocarse hacia: la comparación e interpretación de diferentes imágenes con distinto grado de iconicidad, al análisis de diferentes representaciones para un mismo fenómeno y la consideración de las ventajas y desventajas de las mismas así como sus códigos y simbología. De este modo, se favorecería la conversión entre diferentes representaciones, produciendo una comprensión efectiva e integradora, que posibilita la transferencia de los conocimientos aprendidos y genera resultados efectivos (Egret, 1989; Duval, 1991, citado en García García y Perales Palacios, 2006).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO ZAMORANO, C. (2005). La estructura atómica y el enlace químico desde un punto de vista interdisciplinario. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra. VII Congreso. En http://www.blues.es/sice23/congres2005/material/comuni_orales/2_3/alvarado_819.pdf
- ARDAC, D. y AKAYGUN, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27 (11), 1269–1298.
- ÁVILA LÓPEZ, F. J. (2001). La incidencia de las imágenes mentales en la comprensión lectora en una L2. *Revista Elia*, 2, 37-48. En <http://www.institucional.us.es/revistas/revistas/elia/pdf/2/2.Javi%20%20Avila.pdf>
- BALOCCHI, E., MODAK, B., MARTÍNEZ, M., PADILLA, K., REYES, F. Y GARRITZ, A. (2005). Aprendizaje cooperativo del concepto “cantidad de sustancia” con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. Parte II: Concepciones alternativas de “reacción química”. *Educación Química*, 16 (4), 550-567.

- BARBOUX, M., CHOMAT, A., LARCHER, C. Y MEHEUT, M. (1987). *Modele particulaire et activites de modelisation en classe de 4ème*. Rapport de fin de recherche n° 12.09.84.87. L.I.R.E.S.P.T., Paris.
- BENARROCH, A. (1989). La naturaleza “particulativa” de la materia. Un estudio longitudinal de ideas previas. *Publicaciones*, 15, 135-148.
- BENARROCH, A. Y MARÍN, N. (1997). Dependencia de las explicaciones **de los** alumnos de esquemas de conocimiento específicos y generales. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra. 171-172. V Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas. Murcia. España.
- BENARROCH, A. (1998). *Las explicaciones de los estudiantes sobre las manifestaciones corpusculares de la materia. Descripción, análisis y predicción de características y dificultades*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, España.
- BENARROCH, A. (2000). Del modelo cinético-corpuscular a los modelos atómicos. Reflexiones didácticas. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 23, 95-108.
- BENARROCH, A. (2001). Una interpretación del desarrollo cognoscitivo de los alumnos en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 123-134.
- BENARROCH, A. (2003). La atención a las dificultades de aprendizaje en las ciencias experimentales desde la investigación didáctica. En L. Herrera y otros (Coords.), *Intervención Psicoeducativa. Una perspectiva multidisciplinar*. 107-135. Granada: Grupo Editorial Universitario.
- BENARROCH, A. (2005). *La construcción del conocimiento científico*. Curso de Doctorado del Programa Doctorado en Enseñanza de las Ciencias y la Tecnología, Universidad de Granada.
- BENARROCH, A. (2007). La construcción del conocimiento físico-químico en el estudiante y sus implicaciones en el aula. *Primeras Jornadas Regionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Universidad Católica del Maule. Talca. Chile.

- BENARROCH, A., MATUS, L., PERALES, F. J. Y NAPPA, N. R. (2008). ¿Hay criterios unánimes en los modelos moleculares químicos que se enseñan en las distintas etapas de la educación secundaria?. XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. En Jiménez Liso, R. (Ed.) *Ciencias para el Mundo Contemporáneo y Formación del Profesorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 1047-1057. Ed. Universidad de Almería. Almería. España.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Y STENGERS, I. (1997). *Historia de la Química*. España: Addison-Wesley / Universidad Autónoma de Madrid.
- BERTOMEU, J. R. (2000), *Las tablas de afinidades*. En <http://uv.es/bertomeu/material/clasico>
- BOO, H. K. (1998). Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (5), 569-581.
- BORSESE, A. (1995). Una matriz conceptual única para los diversos tipos de enlace químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (1), 116-118.+
- BULLEJOS, J., DE MANUEL, E. Y FURIÓ, C. (1995). ¿Sustancias simples y / o elementos? Usos del término elemento químico en los libros de texto. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 9, 27-42.
- CAAMAÑO, A. (2001). La enseñanza de la Química en el inicio del nuevo siglo: una perspectiva desde España. *Educación Química*, 12 (1), 7-17.
- CAAMAÑO, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química. En María Pilar Jiménez Aleixandre (Coord.) *Enseñar ciencias*. 203-229. Barcelona: Graó.
- CARMONA, A., SAMPEDRO, C., SOLÍS, E., GONZÁLEZ, F., HIERREZUELO, J., GARCÍA, E., BERTHOLLET, J., ALMEDA, L., BORREGO, M.J., HOCES, R., LÓPEZ-GAY, R. (1989). *Proyecto para el diseño curricular del área de ciencias de la naturaleza*. Sevilla: Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía.
- CLARK, J. M. Y PAIVIO, A. (1991). Dual Coding Theory and Education. *Educational Psychology Review*, 3 (3), 149-210.

- COLL, R., FRANCE, B. Y TAYLOR, I. (2006). El papel de los modelos y analogías en la educación en ciencias: implicaciones desde la investigación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3 (1), 160-162.
- COLL, R. Y TAYLOR, N. (2002). Mental models in chemistry: Senior chemistry students' mental models of chemical bonding. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3 (2), 175–184.
- COLL, C. Y TREAGUST, D. (2001). Learner's mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31, 357-382.
- COLL, C. Y TREAGUST, D. (2002). Exploring tertiary students' understanding of covalent bonding. *Research in Science & Technological Education*, 20 (2), 241-267.
- COLL, R. Y TREAGUST, D. (2003a). Investigation of secondary school, undergraduate, and graduate learners' mental models of ionic bonding. *Journal of Research in Science Teaching*, 40 (5), 464–486.
- COLL, R. Y TREAGUST, D. (2003b). Learners' mental models of metallic bonding: a cross-age study. *Science education*, 87 (5), 685-707.
- COPOLO, C. Y HOUNSHELL, P. (1995). Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 4 (4), 295-305.
- CHAMIZO, J. A. (2006). Los modelos de la Química. *Educación Química*, 17 (4), 476-482.
- CHASTRETTE, M. y FRANCO, M. (1991). La reacción química: descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 243-247.
- DELGADO CASTILLO, R. (2000), *Historia de la Química*. En <http://galeon.com/cienbas/histindex.htm>
- DE POSADA, J. M. (1993). Estudio de los constructos de los alumnos y análisis secuencial de libros de texto en los niveles de BUP y COU en relación con la estructura de la materia y enlace químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (3), 351.

- DE POSADA, J. M. (1999). Concepciones de los alumnos sobre el enlace químico antes, durante y después de la enseñanza formal. Problemas de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 227–245.
- DIEZ ESCRIBANO, D. Y CABALLERO SAHELICES, C (2004). *Imágenes externas de gen y cromosoma en materiales instruccionales para la enseñanza de la Biología en el sistema educativo venezolano*. En <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revistas/V4N2/v4n2a7.pdf>
- ESTEBAN SANTOS, S. (2003). La perspectiva histórica de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad y su papel en la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (3), 1-16. En <http://www.saum.uvigo.es/reec>
- FANARO, M., OTERO, M. R. Y GRECA, I. (2005a). Las imágenes en los materiales educativos: las ideas de los profesores. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4 (2). En http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen4/art2_vol4_N2.pdf
- FANARO, M., OTERO, M. Y GRECA, I. (2005b). ¿Qué ideas tienen los profesores acerca de las imágenes en los materiales educativos?. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra. VII Congreso.
- FARÍAS, M. (2005). Multimodalidad, lenguaje y aprendizajes. *Revista de Contribuciones Científicas y Tecnológicas*. USACH, 33 (133), 26-31.
- FENÁNDEZ GONZÁLEZ, M. (2000), Fundamentos históricos. En Perales Palacios, F. J. y Cañal de León, P. (Coords.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. 65-83. España: Marfil.
- FURIÓ-MAS, C. Y DOMÍNGUEZ-SALES, C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 25 (2), 241-258.
- GALAGOVSKY; L. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: Derivaciones comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (3), 349-365

- GALAGOVSKY, L. Y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 231-242.
- GALAGOVSKY, L., RODRÍGUEZ, M., STAMATI, N. Y MORALES, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de las ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), 107-121. En <http://www.bib.uab.es/pub/ensenazadelasciencias/02124521v21n1p107.pdf>
- GARCÍA, J.E. (1999). La Construcción del Conocimiento Escolar y el Uso de las Ideas de los Alumnos. En M. Kaufman y L. Fumagalli. *Enseñar Ciencias Naturales*. Argentina: Paidós. Pp. 175-210.
- GARCÍA FRANCO, A. Y GARRITZ RUIZ, A. (2006). Desarrollo de una unidad didáctica: el estudio del enlace químico en el bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (1), 111-124.
- GARCÍA GARCÍA, J. (2005). El uso y el volumen de información en las representaciones gráficas cartesianas presentadas en los libros de texto de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (2), 181-200.
- GARCÍA GARCÍA, J. Y PERALES PALACIOS, F. J. (2005). ¿Influye la formación académica de los estudiantes en su comprensión de las representaciones gráficas cartesianas?. *Enseñanza de las Ciencias*. Número extra. VII Congreso.
- GARCÍA GARCÍA, J. Y PERALES PALACIOS, F. J. (2006). ¿Cómo usan los profesores de Química las representaciones semióticas?. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2), 247-259.
- GARCÍA RETAMERO, R., PADILLA, D. Y FERNÁNDEZ GUINEA, S. (1999). *Neuropsicología de las imágenes mentales: una revisión desde la perspectiva de la rehabilitación neuropsicológica*. Comunicación presentada en el First International Congress on neuropsychology in internet. En <http://www.uninet.edu/union99/congress/libs/bas/b04.html>
- GIERE, R. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: Chicago University Press.

- GONZÁLEZ ÁLVAREZ, L. (2005). El uso de la imagen para la construcción de conceptos de Física. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra. VII Congreso.
- GUEVARA, M., Y VALDEZ, R. (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química: algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. *Educación Química*, 15 (3), 243-247. En <http://www.fquim.unam.mx/sitio/edquim/153/153-que.pdf>
- GUTIERREZ, R. (2005). *Polisemia actual del concepto modelo mental. Consecuencias para la investigación didáctica*. En http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n2/v10_n2_a4.htm
- GRECA, I. (2000) Representaciones mentales. En Moreira, M. A. y otros (Coords.), *I Escuela de verano sobre Investigación en Enseñanza de las Ciencias*. 253-295. Burgos: Universidad de Burgos.
- GRECA, I. (2005) Representaciones mentales. En Moreira, M. A. (Coord.), *Representações mentais, modelos mentais e representações sociais*. 7-45. Brasil: Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.
- GRECA, I. Y MOREIRA, M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 289-303. En <http://www.bib.uab.es/pub/ensenazadelasciencias/02124521v16n2p289.pdf>
- HAN, J. y ROTH, W. H. (2005). Chemical inscriptions in Korean textbooks: semiotics of macro and microworld. *Science Education*, 90, 173-201.
- HARRISON, A. Y TREAGUST, D. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- HARRISON, A. Y TREAGUST, D. (2000). Learning about atoms, molecules and chemical bonds: a case study of multiple – model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84 (3), 352-381.
- HOFFMANN, R. y LASZLO, P. (1991). Representation in Chemistry. *Angewandte Chemie, Int. Ed. Engl.* 30, 1–16.
- IDING, M. K. (1997). Can questions facilitate learning from illustrated science texts?. *Reading Psychology*, 18 (1), 1-29.

- IRADI, T. (2004). *Escalas de iconicidad*. En http://www.ehu.es/francoiradi/docencia/apuntes/archivos_pdf/escalas_de_iconicidad.pdf
- IZQUIERDO, M. Y ADÚRIZ-BRAVO, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. Un ejemplo de química. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, VII Congreso.
- JIMÉNEZ, E., BENARROCH, A Y MARÍN, N. (2006). Evaluation of the Degree of Coherence Found in Students' Conceptions Concerning the Particulate Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(6), 577-598.
- JIMÉNEZ VALLADARES, J. Y PERALES PALACIOS, F. J. (2001). Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de Física y Química de la ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 3-19.
- KIM-CHWEE, D. T. y TREAGUST, D. F. (1999). Evaluating students understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81 (294), 75-83.
- KOSSLYN, S. (2005). Mental images and the brain. *Cognitive Neuropsychology*, 23 (3/4), 333-347.
- LEWALTER, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, 177-189.
- McCONNELL, J. Y QUINN, J. (2003). Cognitive mechanisms of visual memories and visual images. *Imagination, Cognition and Personality*, 23 (2&3), 201-207.
- MADOERY, R., MÖLLER, M. A., PEME-ARANEGA, C., BENITO, M., MESTRALLET, M., ROMERO, C, Y CADILE, S. (2003). La construcción de las nociones básicas de química en ciencias agropecuarias: el caso de "efectos electrónicos en las moléculas". *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), 419-428.
- MARÍN, N. (1994). Elementos cognoscitivos dependientes del contenido. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 20, 195-208.
- MARIN, N. (1995). Metodología para obtener información del alumno de interés didáctico. Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería. 31-82.

- MARIN, N. Y BENARROCH, A. (1998). Modos de describir el conocimiento del alumno. XVIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. En García Barros, S. Y Martínez Losada, María Cristina (Coords.), *La Didáctica de las Ciencias: tendencias actuales*. 381-393. Ed. Universidad de La Coruña. La Coruña. España.
- MARÍN, N., JIMÉNEZ, E. Y BENARROCH, A. (2004). How to identify replies that accurately reflect students' knowledge? A methodological proposal. *International Journal of Science Education*, 26(4), 425-445.
- MÁRQUEZ, C., IZQUIERDO, M. Y ESPINET, M. (2003). Comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), 371-386.
- MARTÍN, M. Y SÁNCHEZ, P. (1999). Una propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de enlace químico en secundaria. *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Coruña, 537-547.
- MARTINS, I. Y GOUVÊA, G. (2005). Analizando aspectos da leitura de imagens em livros didáticos de ciencias por estudantes do ensino fundamental no Brasil. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, VII Congreso.
- MATUS LEITES, M. L. (2003). *El uso del mapa semántico en relación con el aprendizaje de las uniones químicas*. Tesis de Magíster. Universidad de Alcalá. España.
- MATUS LEITES, M. L. (2006). *Análisis didáctico de las imágenes usadas en los libros de texto para la enseñanza del enlace químico. Relación con las dificultades de aprendizaje de los alumnos*. Memoria presentada para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados. Programa de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias y la Tecnología. Universidad de Granada. España.
- MATUS, L., BENARROCH, A. Y PERALES, F. J. (2008). Las imágenes sobre enlace químico usadas en los libros de texto de educación secundaria. Análisis desde los resultados de la investigación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 26 (2), 149-172.

- MATUS, L., BENARROCH, A. Y NAPPA, N. (2009). La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*. Enviado para publicar.
- MATUS, L. Y NAPPA, N. (2006). Análisis de las representaciones internas sobre enlace químico. Comunicación presentada en el *XXVI Congreso Argentino de Química*. San Luis. Argentina.
- MEHEUT, M., LARCHER, C. Y CHOMAT, A. (1988). Modelos de partículas en la iniciación a las ciencias físicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 231-239.
- MINISTRY OF EDUCATION (2004). What is the new Zealand curriculum framework? En <http://www.minedu.govt.nz>
- MOREIRA, M. A. (2002) Modelos mentales y modelos conceptuales en la Enseñanza / Aprendizaje de la Física y en la investigación en este campo. XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. En Elortegui Escartín, N. y otros (Eds.) *Relación Secundaria Universidad*. 31–47. Ed. Universidad de La Laguna, Tenerife. España.
- MOREIRA, M. A. Y GRECA, I. (2004). Obstáculos representacionales mentales en el aprendizaje de conceptos cuánticos. En En Moreira, M. A. Y Greca, I. (Coords.), *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. 26-43. Brasil: Instituto de Física, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.
- MOREIRA, M. A., GRECA, I. Y RODRÍGUEZ PALMERO, M. (2004). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. En Moreira, M. A. Y Greca, I. (Coords.), *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales*. 44-66. Brasil: Instituto de Física, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.
- NAPPA, N. (2002). *Representaciones mentales de los alumnos sobre el fenómeno de disolución*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, España.
- NATIONAL ASSESSMENT GOVERNING BOARD (2006). Science assessment and item specifications for the 2009 National Assessment of Educational Progress (Prepublication ed.). Retrieved July 11, 2006, from http://www.nagb.org/pubs/naep_science_specs_2009.doc.

- ONTORIA, A., GÓMEZ, J. P. R., Y MOLINA RUBIO, A. (1999). *Potenciar la capacidad de aprender y pensar*. Madrid: Narcea.
- OTERO, M. R. (1999). Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciencias. *Revista Investigações em Ensino de Ciências* 4 (2), 93-119. En http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID49/v4_n2_a1999.pdf y http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n2/v4_n2_a2.htm
- OTERO, M. R. y GRECA, I. (2004). Las imágenes en los textos de Física: entre el optimismo y la prudencia. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 21 (1), 35-64.
- OTERO, M. R., GRECA, I. Y LANG DA SILVEIRA, F. (2003). Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2, (1). En <http://saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/Numero1/Art1.pdf>
- OTERO, M. R., MOREIRA, M. A. Y GRECA, I. (2002). El uso de imágenes en textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, 7 (2), 127-154. En http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID85/v7_n2_a2002.pdf
- ÖZMEN, H. (2004). Some student misconceptions in chemistry: a literature review of chemical bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13 (2), 147-159.
- PAIVIO, A. (1991). Dual coding theory: retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology*, 45 (3), 255-287.
- PAIVIO, A. (2006). Dual Coding Theory and Education. En <http://www.umich.edu/~rdytolrn/pathwaysconference/presentations/paivio.pdf>
- PARK, O. Y GITTELMAN, S. (1995). Dynamic characteristics of mental models and dynamic visual displays. *Instructional Science*, 23, 303-320.
- PEDRINACI, E. (1996). Por unas fructíferas relaciones entre la historia, la filosofía y la educación científica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 8, 4-6

- PERALES, F. J. Y JIMÉNEZ, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza–aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de textos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 369–386.
- PERALES LÓPEZ, J. C. Y ROMERO BARRIGA, J. F. (2005). Procesamiento conjunto de lenguaje e imágenes en contextos didácticos: una aproximación cognitiva. *Anales de Psicología*, 21 (1), 129-146. En http://www.um.es/analesps/v21/v21_1/14-21_1.pdf
- PERALES PALACIOS, F. J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (1), 13-30.
- PERALES PALACIOS, F. J. y JIMÉNEZ VALLADARES, J. D. (2004). Las ilustraciones en los libros de Física y Química de la ESO. En Gil, J. J. (Coord.), *Aspectos didácticos de Física y Química*. 12. 11-65. Zaragoza: I.C.E. de la Universidad de Zaragoza.
- PÉREZ DE EULATE, L., LLORENTE, E., ANDRIEU, A. (1999). Las imágenes de digestión y excreción en los textos de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (2), 165-178.
- PETERSON, R., TREAGUST, D. Y GARNETT, P. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (4), 301–314.
- POZO, J. I. Y GÓMEZ CRESPO, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- POZO, J. I. Y MONEREO, C. (1999). *El aprendizaje estratégico*. Madrid: Aula XXI / Santillana.
- POZO MUNICIO, J. I. (2003). *Adquisición de conocimiento. Cuando la carne se hace verbo*. Madrid: Morata.
- PRO, M., (2003). *Aprender con imágenes. Incidencia y uso de la imagen en las estrategias de aprendizaje*. España: Paidós.
- RIBOLDI, L., PLIEGO, O. Y ODETTI, H. (2004). El enlace químico: una conceptualización poco comprendida. *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (2), 195-212.

- SALMERÓN, H. y GONZÁLEZ, D. (2005). *Calidad de la Evaluación Educativa. Recogida y Análisis de Datos. Fiabilidad y Validez de los Instrumentos*. Curso de Doctorado del Programa Doctorado en Enseñanza de las Ciencias y la Tecnología, Universidad de Granada.
- SÁNCHEZ GONZÁLEZ, A., (2004). *Estudios teóricos sobre la naturaleza del enlace químico en iluros de pnícogeno y sus análogos del Boro*. Trabajo de investigación tutelada del programa de Doctorado en Química Teórica y Computacional de la Universidad de Granada, España.
- SÁNCHEZ NAVARRO, J., HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, M. Y PERDOMO REYES, I. (2003). *Huellas de una ciencia creativa*. En http://nti.educa.rcanaria.es/fundoro/quimica/cat_expq_w.pdf
- SANMARTÍ, N. (2002) La secuenciación de contenidos en la nueva ESO. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 33, 28-37.
- SCHNOTZ, W., BANNERT, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141-156.
- SMITH, C. L.; WISER, M.; ANDERSON, C.W. Y KRAJCIK, J. (2009) Implications of Research on Children's Learning for Standards and Assessment: A Proposed Learning Progression for Matter and the Atomic-Molecular Theory. *Measurement*, 14(1&2), 1-98.
- SOLAZ-PORTOLEZ, J. (1996). Diagramas: ¿ilustraciones eficaces en la instrucción en ciencias?. *Educación Química*, 7 (3) 145-149. En <http://www.fquim.unam.mx/sitio/edquim/73/73-ilus.pdf>
- SOLBES, J., CALATAYUD, M., CLIMENT, J. Y NAVARRO, J. (1987). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 5 (3), 189-195.
- SOLBES, J. Y TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de Física y Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1), 151-162.
- SOLBES, J. y VILCHES, A. (1991). Análisis de la introducción de la teoría de enlaces y bandas. *Enseñanza de las Ciencias*; 9 (1), 53 – 58.

- SOLÍS, C. (1985). *Robert Boyle: física, química y filosofía mecánica*. Madrid: Alianza Editorial.
- TAN, K. C. D. Y TREAGUST, D. (1999). Evaluating students' understanding of chemical bonding. *School Science Review*, 81 (294), 75-83.
- TEN VOORDE, H. H. (1990). On teaching and learning about atoms and molecules from a Van Hiele point of view. En Linjse, P. L. y otros (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles. A central problem in secondary science education*. 81-103. Utrech: Universidad de Utrech,
- TOMASI, J. (1999). Towards 'chemical congruence' of the models in theoretical chemistry. *HYLE – An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 5(2), 79-115.
- TREAGUST, D., DUIT, R. Y NIESWANDT, M. (2000). Sources of student's difficulties in learning chemistry. *Revista Educación Química*, 11 (2), 228-235. En <http://www.fquim.unam.mx/sitio/edquim/112/112-trea.pdf>
- ÜNAL, S., ÇALIK, M., AYAS, A. y COLL, R. (2006). A review of chemical bonding studies: needs, aims, methods of exploring students' conceptions, general knowledge claims and students' alternative conceptions. *Research in Science & Technological Education*, 24 (2), 141-172.
- VALCÁRCEL PÉREZ, M. V., SÁNCHEZ BLANCO, G. Y ZAMORA BARRANCO, A. (2005). Conocimientos de los alumnos de ESO y bachillerato (14-18) sobre el modelo iónico del enlace químico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, VII Congreso.
- WU, H. K., KRAJCIK, J. Y SOLOWAY, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: student's use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (7), 821-842.
- WU, H. K. y SHAH, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88, 465-492.
- ZAMORA BARRANCOS, A.; VALCÁRCEL PÉREZ, M. V. Y SÁNCHEZ BLANCO, G. (2000). Análisis de los modelos de enlace químico en libros de texto de Educación Secundaria. En Actas de los XIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Madrid. España.

Anexo 1

CUESTIONARIO

Nombre y Apellido:			Seudónimo:
Nota media del curso anterior:	Edad: Años y meses	Colegio donde hace los estudios primarios:	Centro donde hace los estudios secundarios:
Observaciones:			

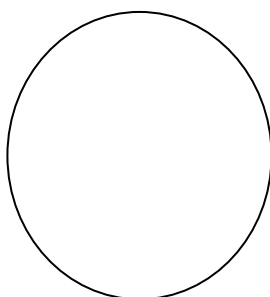
TAREA A

Imagina que tuvieras un microscopio muy potente, ¿podrías representar el aire y el agua? Ayúdate de la información siguiente:

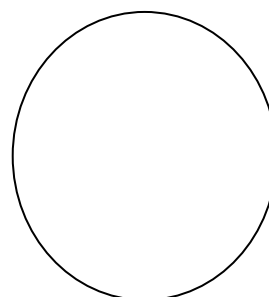
- AIRE ES UNA MEZCLA DE GASES:

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Nitrógeno, de fórmula N_2 (78%) • Oxígeno, de fórmula O_2 (21%) |
|--|

- AGUA ES UNA SUSTANCIA PURA FORMADA POR OXÍGENO E HIDRÓGENO, DE FÓRMULA MOLECULAR H_2O



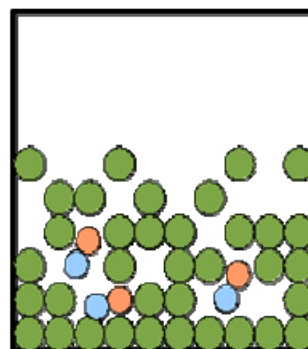
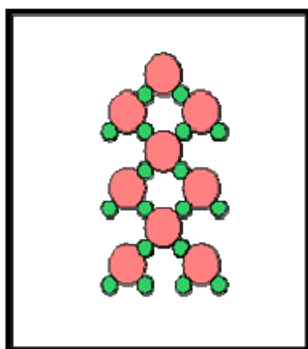
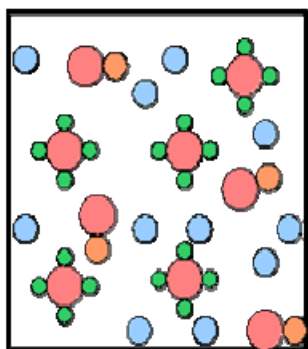
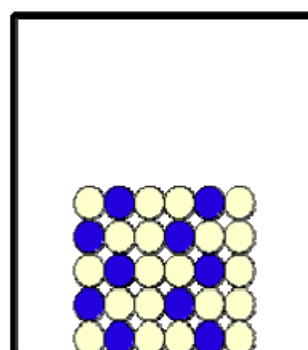
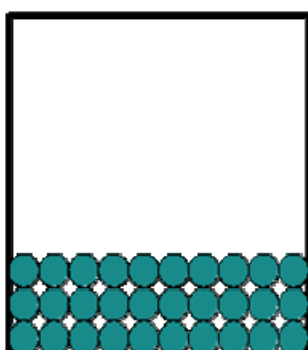
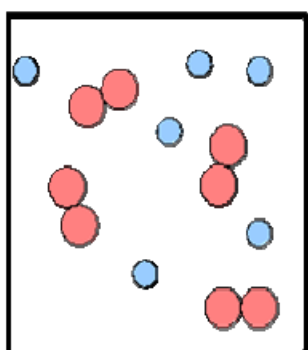
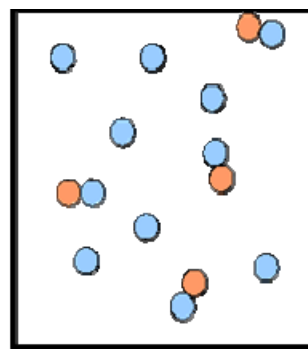
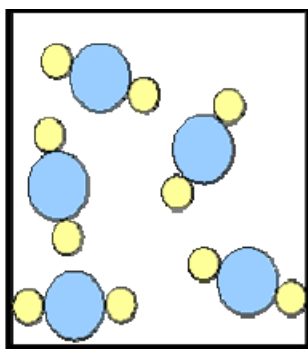
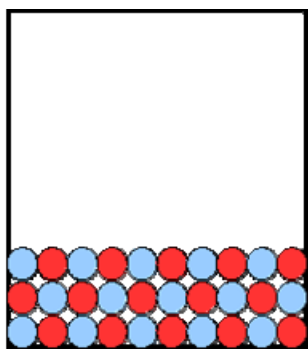
AIRE



AGUA

TAREA B

Observa las siguientes sustancias encerradas en un recipiente. Debes decir si son sustancias puras o mezclas (cada bola de color es una clase de átomo).



TAREA 1

Las siguientes esferitas de distintos tamaños y colores representan a los átomos de hidrógeno, oxígeno, carbono, cloro, flúor, nitrógeno, entre otros. Completa el siguiente cuadro y luego construye las moléculas con las esferitas y los palillos.

Sustancia	Fórmula molecular	Formada por...	Foto del modelo
Hidrógeno	H ₂	2 átomos de hidrógeno.	
Agua	H ₂ O	2 átomos de hidrógeno y 1 átomo de oxígeno.	
Oxígeno	O ₂		
Monóxido de Carbono	CO		
Dióxido de Carbono	CO ₂		
Nitrógeno	N ₂		
Amoníaco	NH ₃		
Cloro	Cl ₂		
Cloruro de hidrógeno	HCl		
Óxido de cobre (II)	CuO		

TAREA 2

A veces, las mínimas partes de las sustancias no se llaman moléculas, sino que son macromoléculas, pues constan de muchísimos átomos unidos entre sí. Por ejemplo, el carbono en el diamante es una macromolécula de átomos de carbono en el que cada átomo está unido a cuatro átomos de carbono a su alrededor y forman una estructura tridimensional (se muestra la estructura construida en foto 1). En cambio en el grafito, la estructura es distinta porque los átomos se unen formando capas planas, pero lo importante ahora es que también es una macromolécula (se muestra la estructura construida en foto 2). Lo mismo les pasa a los metales sodio, magnesio, cobre, entre otros. En el cobre por ejemplo, la estructura es cúbica y hay un átomo de cobre en cada vértice y un átomo en cada

cara del cubo (se muestra la estructura construida en foto 3). De esta manera, cuando escribimos C, Cu, Na, etc. en una ecuación química, nos estamos refiriendo a la mínima parte distinguible de la macromolécula.

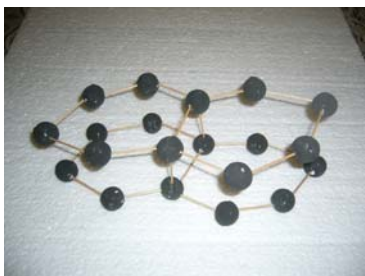


Foto 1. Modelo de grafito



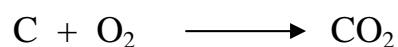
Foto 2. Modelo de diamante



Foto 3. Modelo de cobre

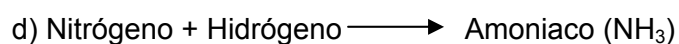
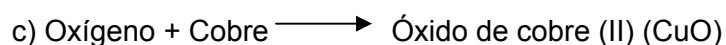
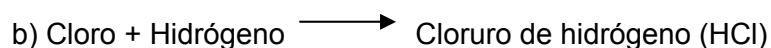
TAREA 3

La síntesis de dióxido de carbono a partir de carbono grafito y de oxígeno molecular se expresa de la siguiente manera:



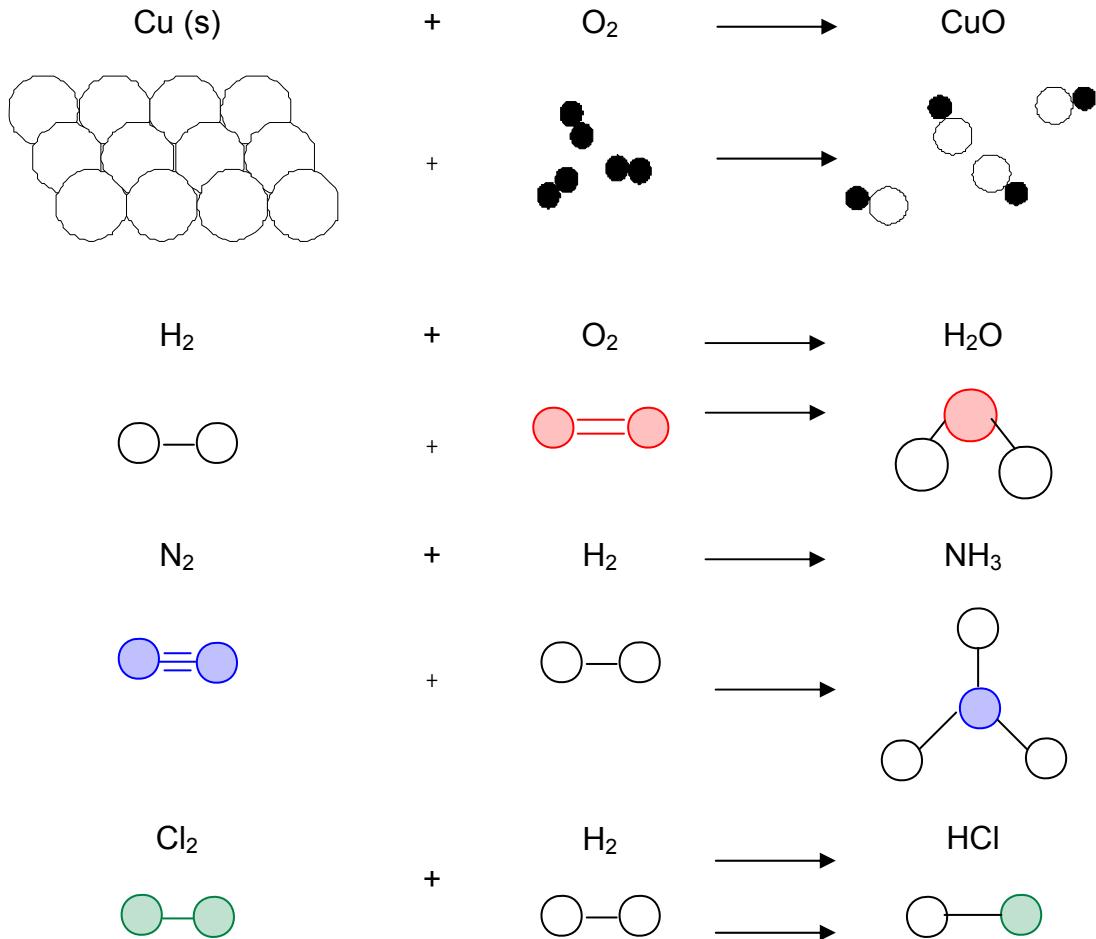
Y se lee: *carbono con oxígeno forma dióxido de carbono*. Lo que quiere decir que cada átomo de carbono (producto de la ruptura de la macromolécula del grafito) se une a dos átomos de oxígeno (producto de la ruptura de una molécula de oxígeno) para formar una molécula de dióxido de carbono.

Toma una unidad de las siguientes sustancias (que formaste en la tarea 1) y trata de representar las reacciones químicas que se indican. ¿Te animas a escribirlas con fórmulas químicas?



TAREA 4

Identifica dónde están los posibles errores en los siguientes modelos de bolas y varillas.



TAREA 5

PARTE I) Hasta ahora hemos visto que los átomos se unen para formar moléculas o macromoléculas de las distintas sustancias. Pero... ¿cómo son esas uniones y por qué se presentan?

- ¿Por qué crees que los átomos de oxígeno se unen para formar la molécula de oxígeno?
- ¿Cómo crees que tiene lugar esa unión?
- ¿Es el mismo tipo de unión que el que se produce entre un átomo de cloro (Cl) y uno de sodio (Na)?

PARTE II) Los Químicos dicen que:

- a) El átomo está formado por protones (cargas eléctricas positivas), neutrones (cargas eléctricas neutras) y electrones (cargas eléctricas negativas).
- b) Los protones y neutrones forman el núcleo del átomo
- c) Los electrones, se encuentran alrededor del núcleo con diferente energía y de acuerdo a ello se disponen en diferentes órbitas o niveles de energía (n=1, n=2, n=3, etc.) El número máximo de electrones por cada nivel de energía viene dado por la expresión $2n^2$. (2, 8, 18,... respectivamente en el nivel 1, 2, 3,...)

Mira la tabla periódica y teniendo en cuenta la regla $2.n^2$ completa el siguiente cuadro:

Elemento	Símbolo	Nº de electrones	Distribución Electrónica			Notación de Lewis	Representación del átomo
			1º nivel	2º nivel	3º nivel		
Hidrógeno							
Helio							
Litio							
Berilio							
Boro							
Carbono							
Nitrógeno							
Oxígeno							
Flúor							

Elemento	Símbolo	Nº de electrones	Distribución Electrónica			Notación de Lewis	Representación del átomo
			1º nivel	2º nivel	3º nivel		
Neón							
Sodio							
Magnesio							
Aluminio							
Silicio							
Fósforo							
Azufre							
Cloro							
Argón							

TAREA 6

Completa:

- Si 1 átomo de oxígeno gana 2 electrones, su configuración electrónica es la del..... y se transforma en un
- Si 1 átomo de cloro gana 1 electrón, su configuración electrónica es la del y se transforma en un
- Si 1 átomo de potasio pierde 1 electrón, su configuración electrónica es la del y se transforma en un
- Si un átomo de magnesio pierde 2 electrones, su configuración electrónica es la del.....y se transforma en un.....

TAREA 7

Analiza en la tabla del apartado 5 II las distribuciones electrónicas y representaciones de los átomos de los gases nobles. ¿Tienen alguna característica en común? Teniendo en cuenta tu respuesta anterior y lo que completaste en el ítem 6 ¿Por qué crees ahora que los átomos se unen? y ¿Es el mismo tipo de unión, el que se produce entre dos átomos de oxígeno que el que se produce entre un átomo de cloro y otro de sodio?

En conclusión:

A. Debes distinguir los siguientes elementos de la TP:

- Gases nobles: Son los más estables, no se combinan con otros elementos, por eso también se llaman gases inertes o gases raros.
- Los elementos de la derecha: Son los que tienen más tendencia a ganar electrones para alcanzar la configuración electrónica del gas noble que les sigue. Los llamaremos no metales.
- Los elementos de la izquierda.: Son los que tienen más tendencia a perder electrones para alcanzar la configuración electrónica del gas noble que les precede. Los llamaremos metales.

B. Y los siguientes tipos de enlace entre átomos:

- Si un átomo de un elemento de la derecha de la tabla periódica es decir un no metal se une con un átomo de un elemento de la izquierda, es decir con un metal, el tipo de enlace que se produce es iónico.
- Si un átomo de un elemento de la derecha se une con otro átomo de un elemento de la derecha o con otro átomo del mismo elemento, el tipo de enlace que se produce es covalente.
- Si un átomo de un elemento de la izquierda o del centro se une con otro átomo de un elemento de la izquierda o con otro átomo del mismo elemento, el tipo de enlace que se produce es el metálico (comparten multielectrones).

TAREA 8

Construye con esferas las siguientes sustancias y di qué tipo de enlace existe entre sus átomos:

Sustancia	Fórmula Molecular	Tipo de enlace	Notación de Lewis	Representación del enlace	Foto del modelo
Fluoruro de	HF				
Óxido de sodio	Na ₂ O				
Cloro	Cl ₂				
Oxígeno	O ₂				
Nitrógeno	N ₂				
Magnesio	Mg				
Agua	H ₂ O				
Sodio	Na				
Cloruro de sodio	NaCl				
Dióxido de carbono	CO ₂				
Amoníaco	NH ₃				
Cloruro de calcio	CaCl ₂				

Anexo 2

**UN EJEMPLO DE ENTREVISTA LITERAL
(1ª TRANSCRIPCIÓN)**

GUI

Tarea A

E: Imagínate que tienes un microscopio muy potente... dibuja en estos círculos, cómo verías el aire y en este otro, cómo verías el agua...

A: *Bueno...*

E: Fíjate (señalo el recuadro con la información) que el aire es una mezcla de gases: hay un 78% de nitrógeno y un 21% de oxígeno...

A: *Si*

E: Y el agua, es una sustancia pura que está formada por oxígeno e hidrógeno, y la fórmula química es H_2O ...

A: *Bueno... (dibuja)*

E: ¿Me podrías explicar tus dibujos?

A: *Si... bueno, acá en el aire, este punto quiere decir el oxígeno y el nitrógeno y todo esto, es el aire... En el agua, es lo mismo: todo esto es el agua y este punto quiere decir que es H_2O ...*

Tarea B

E: Bien, vamos a la próxima tarea: ahora tienes nueve sustancias encerradas en sus respectivos recipientes y debes clasificarlas en sustancias puras y mezclas.

A: *(Observa y piensa) Pura es la 5, porque no hay otra sustancia... hay una sola. Las otras son mezclas porque están con otras sustancias, hay otros colores...*

Tarea 1

E: En la naturaleza existen sustancias y, estas sustancias están formadas por moléculas... mira. Por ejemplo, acá tienes muchas moléculas de hidrógeno (le muestro varias moléculas) ¿cómo están formadas estas moléculas?

A: *Por dos átomos...*

E: Bien, entonces cuando hablo de la sustancia hidrógeno, me estoy refiriendo a un montón de moléculas de hidrógeno, cada una de ellas, se escribe como H_2 porque, como bien has dicho, están formadas por dos átomos.

A: *Si, claro...*

E: Ahora fíjate, que en estas bolsitas, tienes esferitas de diferentes colores y tamaños y representan a los átomos de diferentes elementos químicos... fíjate que las bolsitas están rotuladas... por ejemplo, estas esferitas blancas representan a los

átomos de hidrógeno; las azules, a los átomos de nitrógeno.... pero recuerda que en la naturaleza no existen átomos solos, sino que siempre forman moléculas.

A: *Si, si... como estas de hidrógeno que me mostraste recién.*

E: Claro. Bueno ahora de la misma manera que hice para el hidrógeno, tienes que completar este cuadro con las otras sustancias.

A: (Completa el cuadro en voz alta) *En el oxígeno, tiene dos átomos de oxígeno; en el monóxido de carbono, un átomo de carbono y otro de oxígeno; en el dióxido de carbono, tiene dos átomos de oxígeno y un átomo de carbono; el nitrógeno, dos átomos de nitrógeno; el amoníaco, uno de nitrógeno y tres de hidrógeno; el cloro, dos de cloro; el cloruro de hidrógeno, uno de cloro y uno de hidrógeno y el óxido de cobre, uno de cobre y uno de oxígeno.*

E: Ahora, tienes que hacer estas moléculas con las esferitas y los palillos ¿te animas?

A: *Si... (trabaja)*

Tarea 2

E: Hasta acá hemos visto que las sustancias están formadas por moléculas... sin embargo, hay sustancias que están formadas por macromoléculas, es decir moléculas que están constituidas por muchos, muchos átomos unidos entre sí... Fíjate por ejemplo, el diamante (se muestra la estructura construida), es una macromolécula formada por muchos átomos de carbono; cada carbono está unido a otros cuatro átomos de carbono... También, el grafito (se muestra la estructura construida), otra macromolécula formada también por átomos de carbono, pero que se unen formando capas planas. Los metales, también son macromoléculas, porque están formados por muchos átomos, fíjate por ejemplo, el cobre (se muestra la estructura construida), la estructura es cúbica y hay un átomo de cobre en cada vértice y un átomo en cada cara del cubo...

A: (Observa atentamente)

E: Entonces, cuando escribimos C, Cu, etc. en una ecuación química, nos estamos refiriendo a la parte más pequeña y distinguible de la sustancia y, no que esa sustancia esté formada por un solo átomo.

Tarea 3

E: Ahora vamos a ver qué sucede cuando reacciona el carbono, por ejemplo grafito (se muestra la macromolécula), con el oxígeno (se muestra la molécula), se forma dióxido de carbono (se muestra la molécula). (Se muestra la reacción química

mediante la rotura de los enlaces de los reactivos y la formación de los nuevos enlaces formando el producto)

Esta reacción se escribe:

Carbono + Oxígeno \longrightarrow Dióxido de Carbono

O bien, utilizando fórmulas químicas, se escribe como:

$C + O_2 \longrightarrow CO_2$

Y se lee: carbono se combina con oxígeno y forma dióxido de carbono. Lo que quiere decir que la sustancia carbono, por ejemplo el grafito, se une a la sustancia oxígeno para obtener la sustancia dióxido de carbono.

Ahora toma una unidad de las siguientes sustancias y trata de representarlas reacciones químicas que se indican.

A: (Trabaja)

E: Ahí tienes una molécula de agua y ¿qué pasa con ese oxígeno que sobra?

A: (Piensa) *y... no puede quedar solo, porque no existen átomos solos, existen moléculas, como me dijiste al principio.*

E: ¿Y entonces? ¿Y si quiero formar otra molécula de agua?

A: (Piensa) *y... necesito más hidrógeno...*

E: ¿Y cómo harías?

A: *Y... tomo otra molécula de hidrógeno...*

E: ¿A ver? muéstrame....

A: (arma una molécula de hidrógeno y con el oxígeno, realiza la segunda molécula de agua)

E: Muy bien. ¿Y te animas a escribir esto que has hecho con las fórmulas químicas?

A: *¿Cómo?*

E: Así como escribí recién la reacción del grafito con el oxígeno...

A: *Ah, sí...*

E: A ver... ¿cuántas moléculas de hidrógeno utilizaste?

A: *Dos*

E: ¿Y cómo lo escribes?

A: (Piensa) *dos átomos de hidrógeno.*

E: Mira, busca una molécula de hidrógeno de las que has hecho recién...

A: *Acá hay una.*

E Bueno, fíjate ¿cómo escribirías esa molécula?

A: Y... H_2 O sea sería: $H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O$

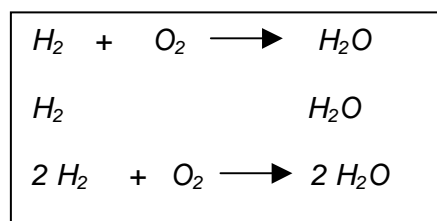
E: Ahora, ¿cuántas moléculas de hidrógeno utilizaste para formar las dos moléculas de agua?

A: Y, *dos moléculas... pero no sé cómo escribirlo...*

E: Mira, utilizaste dos moléculas de hidrógeno; una molécula se escribe H_2 , como lo escribiste... y si son dos moléculas, es porque tienes $H_2 + H_2$ es decir, $2 H_2$ ¿sí?

A: *Ah, claro! (piensa) y se formaron dos moléculas de agua, entonces, es igual... serían $H_2O + H_2O$ o sea $2 H_2O$*

Entonces sería:



E: Muy bien. Ahora, sigamos con las otras...

A: (Toma la molécula de cloro y la molécula de hidrógeno) *¿Puedo ir haciéndolo y escribiéndolo a la vez?*

E: Sí, claro!

A: *Bueno, entonces (escribe) Cl_2 porque son dos átomos de cloro... más H_2 porque son dos hidrógeno y se forman... (trabaja con ambas moléculas) dos moléculas de HCl (completa la ecuación escribiendo $2 HCl$).*

E: Ahora vamos con la siguiente: cobre más oxígeno...

A: *El cobre... está acá, es una macromolécula. (Trabaja y toma dos átomos de la macromolécula y con la molécula de oxígeno, forma dos moléculas de óxido de cobre)*

E: ¿Te animas a escribir con fórmulas?

A: (Escribe) $O_2 + Cu_2 \longrightarrow 2 CuO$

E: ¿Qué significa Cu_2 ?

A: *Una molécula de cobre.*

E: ¿Y qué es el cobre?

A: (Piensa) *No, es una macromolécula porque tiene muchos átomos.*

E: Ah! ¿Y cuántos reaccionaron con el oxígeno?

A: *Solamente dos.*

E: ¿Y eso cómo lo indicas?

A: *¿2 Cu?*

E: ¿Porqué piensas que así se indica?

A: (Piensa) *Porque si pongo Cu₂ sería una molécula que tiene dos átomos y no... es una macromolécula...*

E: Bien... Vamos a la siguiente reacción.

A: (Trabaja en silencio con las moléculas) *La fórmula del amoniacó es NH₃ entonces, de una molécula de nitrógeno, ocupo un átomo (rompe la molécula), y son tres hidrógeno... entonces, voy a necesitar una molécula y otro hidrógeno más (arma la molécula) Ahí está!*

E: Bien!

A: *Pero me ha sobrado un hidrógeno y un nitrógeno y no pueden quedar solos...*

E: ¿Entonces?

A: *Y... armo otra molécula de amoniacó. (Trabaja).*

E: Bueno, ahora escribe la ecuación...

A: (Trabaja). *Sería N₂ + 3 H...*

E: ¿Así se escriben las tres moléculas de hidrógeno?

A: *Sí, 3 H...*

E: ¿Cómo se escribe una molécula de hidrógeno?

A: *H₂ porque son dos átomos...*

E: ¿Entonces?

A: *Ah!! Es 3 H₂ (corrige)*

E: Bien, pasemos a la otra tarea...

Tarea 4

E: En esta tarea, tienes que identificar dónde están los posibles errores en los siguientes modelos de bolas y varillas.

A: *Acá serían cuatro átomos de cobre (en los reactivos) porque se forman cuatro moléculas de óxido de cobre... (tachas los átomos de cobre que sobran) entonces pongo 4 Cu (en la ecuación).*

E: *¿Y si hubieras puesto Cu₄ sería lo mismo?*

A: *No sé... (duda)*

E: *Mira, cuando escribes O₂ ¿qué significa?*

A: *Dos átomos de oxígeno... no, dos moléculas de oxígeno... no, una molécula de oxígeno.*

E: *¿Y 2 O qué significa?*

A: *Dos átomos de oxígeno.*

E: *Claro, O₂ es una molécula de oxígeno y 2 O son dos átomos de oxígeno. Ahora, ¿es lo mismo 4 Cu que Cu₄?*

A: *No, porque 4 Cu son 4 átomos de cobre y Cu₄ es una molécula que tiene cuatro átomos de cobre.*

E: *Bien, completa la ecuación.*

A: *Usé cuatro átomos de cobre, entonces pongo 4 Cu; luego, usé dos moléculas de oxígeno, así que O₂ + O₂ y se forman 4 de CuO.*

E: *Vamos con el agua...*

A: *Acá está mal porque uso un solo oxígeno... ah! pero no puede ser porque no existen átomos solos... entonces, si es una molécula de oxígeno, necesito otra de hidrógeno para formar dos moléculas de agua (dibuja y completa la ecuación).*

E: *La siguiente...*

A: *Acá se van a formar dos de amoníaco, porque hay dos nitrógeno en la molécula... y serían tres moléculas de hidrógeno... (dibuja y completa la ecuación). La última... el cloro con el hidrógeno... acá con una molécula de cada uno, se forman dos de cloruro de hidrógeno... (trabaja y completa la ecuación).*

Tarea 5

E: *Hasta ahora hemos visto que los átomos se unen para formar moléculas o macromoléculas de las distintas sustancias. Pero... ¿cómo son esas uniones y por qué se presentan?*

A: *Y... los átomos se unen para mezclarse... no sé...*

E: *¿Y cómo se unen?*

A: *(Piensa) No sé...*

E: ¿Te parece que se unen de la misma manera dos átomos de oxígeno que uno de cloro con uno de sodio?

A: *Y sí... porque son átomos.*

E: Bien, acá en la próxima actividad tienes que completar este cuadro (el alumno ya estudió, en sus clases de Química, el átomo, sabe la distribución electrónica en los niveles de energía y la representación del átomo; sólo expliqué la notación de Lewis).

A: (Trabaja en silencio)

Tarea 6

E: Fíjate en el cuadro que acabas de completar... acá tienes al oxígeno, si este átomo gana dos electrones, su distribución electrónica se va a parecer al átomo de...

A: *Al Neón.*

E: ¿Y va a seguir estando neutro si gana dos electrones?

A: (Piensa) *No sé...*

E: Fíjate, acá el átomo está neutro (le muestro la representación que hizo previamente en la tarea anterior) porque tiene ocho protones y ocho electrones. Al ganar dos electrones ¿cuántos electrones va a tener en total?

A: *10 electrones.*

E: Bien, y los protones siguen siendo ocho, entonces son ocho protones y diez electrones ¿está neutro?

A: *Y no... no sé...*

E: Fíjate (hago la representación del ión oxígeno y la comparo con la representación que él hizo del átomo de oxígeno) ¿en qué se diferencian? Mira, al ganar dos electrones ¿está neutro?

A: *No... es muy difícil!! (se queja)*

E: ¿Porqué? ¿qué cargas le va a estar sobrando?

A: *Y, los dos electrones.*

E: Bien, y este átomo se representa como O^{2-} siendo los 2- las dos cargas negativas que ganó.

A: *Si.*

E: Bien, completemos entonces...

A: (Completa)

A: Si un átomo de cloro gana un electrón, su configuración electrónica es la del... (mira el cuadro que hizo anteriormente) argón. Y se representa como Cl^{-1} que es el electrón que ganó.

E: Es como el oxígeno... Vamos con el potasio...

A: Si el átomo de potasio pierde un electrón, se va a parecer al... argón (mira el cuadro anterior) y acá resta un electrón, entonces... ¿escribo K^{-1} ?

E: Mira, fíjate... el potasio (le hago la representación del átomo) si pierde este último electrón... ¿sigue estando neutro?

A: Y no... porque queda con un electrón menos, entonces... (piensa)

E: Fíjate ¿qué carga tiene de más?

A: Y un protón, porque tiene 19 protones y 18 electrones...

E: Bien y ¿cómo lo escribes?

A: (Piensa) Y será K^{+1} ... no sé... es difícil!!

E: Bien!! Porque le sobra una carga positiva.

A: Si un átomo de magnesio pierde 2 electrones, su configuración electrónica es la del... neón. y se transforma en un ¿ Mg^{+2} ?

E: A ver...

A: Porque al perder dos electrones, va a quedar con 10 y tiene 12 protones...

E: Bien.

Tarea 7

E: Pasemos a otra tarea... teniendo en cuenta lo que has hecho en la tarea 5, en el cuadro, y la actividad anterior, quiero que me digas ¿Qué tienen en común los gases nobles?

A: (Piensa) Tienen en común el 8, este del segundo nivel...

E: ¿Porqué crees que los átomos se unen?

A: Para formar sustancias... no sé...

E: ¿Por qué crees que los átomos de oxígeno se unen para formar la molécula de oxígeno?

A: Y, para formar la sustancia oxígeno...

E: ¿Cómo crees que se produce esta unión entre los dos átomos de oxígeno?

A: No sé...

E: ¿Crees que es el mismo tipo de unión el que se produce entre dos átomos de oxígeno y uno de cloro con uno de sodio?

A: *Sí, se unen igual porque son átomos.*

Tarea 8

Antes de iniciar esta tarea, se le brinda al estudiante, en una ficha, información referida a los elementos químicos y a los enlaces iónico, covalente y metálico. Seguidamente, se le explica al estudiante el enlace iónico y covalente tomando como ejemplo el óxido de litio y el cloruro de hidrógeno. Seguidamente, se le pide que explique el enlace químico que se origina en los diferentes casos y analizar las relaciones entre los diferentes modelos representacionales: fórmula molecular, Lewis, diagrama de rayas.

A: *Acá tengo hidrógeno y flúor que son... (mira la tabla periódica) no metales, entonces la unión es covalente (trabaja).*

E: *¿Y acá en el óxido de sodio?*

A: *Es un metal, que es el sodio, con un no metal, que es el oxígeno... la unión es iónica... ¿cómo es la notación de Lewis?*

E: *A ver... fijate en el cuadro anterior, el de la tarea 5.*

A: *Es Na con un puntito...*

E: *¿Y el oxígeno?*

A: *Es O con 6 electrones...*

E: *Fijate en la fórmula del óxido de sodio... ¿cuántos átomos de sodio tiene?*

A: *Son dos.*

E: *¿Y tú cuántos has escrito?*

A: *Uno, me falta otro, entonces.*

E: *Si.*

A: *(El alumno hace un puntito al lado del otro puntito del átomo de sodio, es decir que para él, un puntito representa un átomo).*

E: *¿Y cómo representas al otro átomo de sodio?*

A: *Con este puntito...*

E: *¿Cómo se representa el átomo de sodio?*

A: *No sé...*

E: Fíjate que acá escribiste un átomo de sodio con un electrón (puntito) y te falta otro igual, porque son dos átomos...

A: (lo hace poco convencido...)

E: ¿Y cómo se unen estos átomos?

A: *El metal le entrega los electrones al no metal... entonces acá el sodio le entrega el electrón al oxígeno que le faltan dos... lo indico con una flecha...*

E: ¿Y cómo queda el sodio cuando pierde los electrones?

A: *Positivo porque... no sé...*

E: Acuérdate lo que vimos recién ¿cómo queda un átomo cuando pierde electrones?

A: *No sé, no me acuerdo... (piensa) Creo que cuando pierde electrones, se pone positivo y si pierde, se pone negativo... se pone lo que le sobra... ¿o no?*

E: Y en este caso ¿cómo queda?

A: *Y el sodio positivo porque pierde y el oxígeno, negativo... ¿es así?*

E: Bien, sigamos con el que sigue...

A: *Son dos cloro... son no metales, y tienen unión covalente. ¿Se escribe Cl y los electrones del último nivel, también?*

E: Si.

A: *Tiene 7 el cloro (representa un solo átomo).*

E: ¿Cuántos átomos de cloro se indica en la fórmula?

A: *Dos.*

E: ¿Y tú cuántos has escrito?

A: *Ah! ¿me falta uno? Pero acá están los 7... (señala los 7 electrones del átomo de cloro).*

E: ¿Y representas los átomos con un puntito?

A: *Si, no sé... no entiendo... es difícil...*

E: Esos puntitos son los electrones del último nivel y necesitas escribir otro cloro igual para hacer la unión entre los 2 átomos.

A: (Escribe el segundo cloro con dos puntitos).

E: ¿Y qué representa ese cloro con los dos puntitos?

A: *Y que es una molécula...*

E: Entonces ¿esa sería una molécula de cloro, el cloro con los dos puntitos?

A: *Sí, ¿o está mal? Estoy cansado... no entiendo...*

Tarea A

E: Bien, volvamos a las tareas del principio: ¿cómo representarías el aire y el agua si tuvieras un microscopio muy potente?

A: *Y el aire... con moléculas de nitrógeno y de oxígeno, porque ambas forman el aire. Y el agua, con moléculas de oxígeno y de hidrógeno...*

Tarea B

E: Bien, clasifica estas sustancias en mezclas y sustancias puras.

A: *La 1, es mezcla porque hay dos clases de sustancias mezcladas, de distinto color. La 2, es mezcla, la 3 mezcla, porque se unen átomos diferentes, de distinto color. La 4 es sustancia pura, porque se unen átomos del mismo color; la 5, es pura porque es la misma sustancia. La 6, es mezcla, la 7 también, la 8 y la 9 igual. Son mezclas porque se unen átomos de diferente color.*

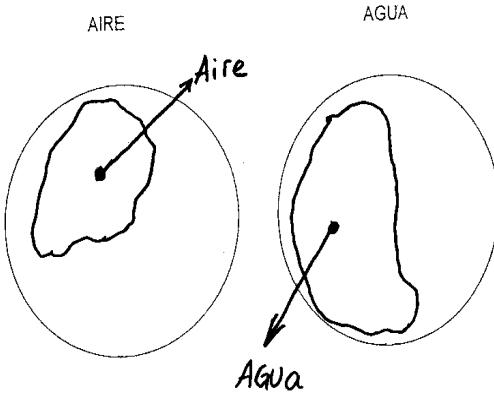
E: Bien, gracias!!

Anexo 3

**UN EJEMPLO DE 2^o TRANSCRIPCIÓN
DE ENTREVISTA**

Seudónimo: GUI			
Nota media del curso anterior: 8	Edad: años y meses: 12 AÑOS Y 10 MESES (12,8)	Colegio donde hizo los estudios primarios: COLEGIO "SAN JOSÉ".	Colegio donde hace los estudios secundarios: ESCUELA INDUSTRIAL "DOMINGO F. SARMIENTO".

Tarea A

<p>Explica las representaciones del aire y el agua diciendo: "Si... bueno, acá en el aire, este punto quiere decir el oxígeno y el nitrógeno y todo esto, es el aire... En el agua, es lo mismo: todo esto es el agua y este punto quiere decir que es H₂O..."</p>	
---	---

Tarea B

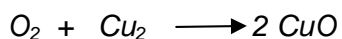
Clasifica las sustancias en puras y mezclas según estén formadas por un solo color o diferentes colores: "Pura es la 5, porque no hay otra sustancia... hay una sola. Las otras son mezclas porque están con otras sustancias, hay otros colores..."

Tarea 1

<ol style="list-style-type: none"> 1. Reconoce que las moléculas están formadas por átomos, así en referencia a cómo están formadas las moléculas de hidrógeno que le muestra la entrevistadora, responde: "Por dos átomos..." 2. Completa el cuadro rápidamente. 3. Construye las moléculas siguiendo el orden de la fórmula química. 	
---	--

Tarea 3

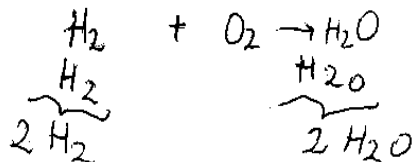
1. Realiza los modelos de bolas y varillas sin dificultad, al igual que las ecuaciones químicas, excepto en el caso del óxido cúprico, donde presenta algunas dudas al ser el cobre una macromolécula. En un principio escribe:



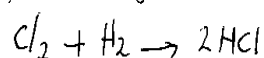
Y considera que Cu_2 es una molécula, sin embargo al advertirle que es una macromolécula, reacciona y rectifica, considerando que reaccionan 2 átomos

2. Tiene algunas dificultades acerca de cómo escribir dos moléculas de agua ($2 \text{H}_2\text{O}$), sin embargo, ante la ayuda de la entrevistadora, logra escribirla.

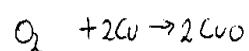
a) Hidrógeno + Oxígeno → Agua



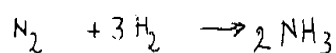
b) Cloro + Hidrógeno → Cloruro de hidrógeno (HCl)



c) Oxígeno + Cobre → Óxido de cobre (II) (CuO)



d) Nitrógeno + Hidrógeno → Amoniaco (NH_3)



Tarea 4

Corrige los modelos de bolas y varillas sin mayores dificultades.

En la ecuación del óxido de cobre, escribe correctamente 4 Cu, pero duda cuando se le pregunta si es lo mismo que Cu₄, sin embargo, reconoce la diferencia cuando se le pregunta si es lo mismo 2 O que O₂

E: ¿Y si hubieras puesto Cu₄ sería lo mismo?

A: No sé... (duda)

E: Mira, cuando escribes O₂ ¿qué significa?

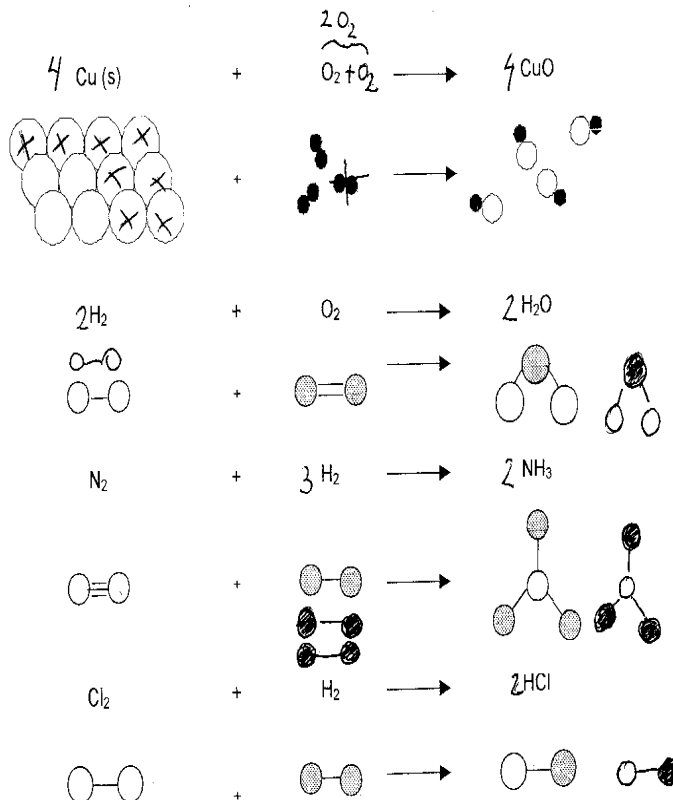
A: Dos átomos de oxígeno... no, dos moléculas de oxígeno... no, una molécula de oxígeno.

E: ¿Y 2 O qué significa?

A: Dos átomos de oxígeno.

E: Claro, O₂ es una molécula de oxígeno y 2 O son dos átomos de oxígeno. Ahora, ¿es lo mismo 4 Cu que Cu₄?

A: No, porque 4 Cu son 4 átomos de cobre y Cu₄ es una molécula que tiene cuatro átomos de cobre.



Tarea 5

1. Con respecto a porqué se presentan las uniones entre los átomos, considera que: "los átomos se unen para mezclarse... no sé..."
2. No sabe explicar cómo se unen los átomos entre sí.
3. Sostiene que se unen de la misma manera dos átomos de oxígeno que uno de cloro con uno de sodio, porque son átomos.
4. El alumno ya estudió, en sus clases de Química, el átomo, sabe la distribución electrónica en los niveles de energía y la representación del átomo; sólo se le explicó la notación de Lewis.

Elemento	Símbolo	Nº de electrones	Distribución Electrónica			Notación de Lewis	Representación del átomo
			1º nivel	2º nivel	3º nivel		
Hidrógeno	H	1	1			H.	$\text{H} \cdot$
Helio	He	2	2			He..	$\text{He} \cdot \cdot$
Litio	Li	3	2	1		Li.	$\text{Li} \cdot$
Berilio	Be	4	2	2		Be..	$\text{Be} \cdot \cdot$
Boro	B	5	2	3		B...	$\text{B} \cdot \cdot \cdot$
Carbono	C	6	2	4		C....	$\text{C} \cdot \cdot \cdot \cdot$
Nitrógeno	N	7	2	5		N.....	$\text{N} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$
Oxígeno	O	8	2	6		O.....	$\text{O} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$
Flúor	F	9	2	7		F.....	$\text{F} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot$

Elemento	Símbolo	Nº de electrones	Distribución Electrónica			Notación de Lewis	Representación del átomo
			1º nivel	2º nivel	3º nivel		
Neón	Ne	10	2	8		Ne.....	(1s) 2e; 8e
Sodio	Na	11	2	8	1	Na.....	(1s) 2e; 8e; 1e
Magnesio	Mg	12	2	8	2	Mg.....	(1s) 2e; 8e; 2e
Aluminio	Al	13	2	8	3	Al...	(1s) 2e; 8e; 3e
Silicio	Si	14	2	8	4	Si....	(1s) 2e; 8e; 4e
Fósforo	P	15	2	8	5	P.....	(1s) 2e; 8e; 5e
Azufre	S	16	2	8	6	S.....	(1s) 2e; 8e; 6e
Cloro	Cl	17	2	8	7	Cl.....	(1s) 2e; 8e; 7e
Argón	Ar	18	2	8	8	Ar.....	(1s) 2e; 8e; 8e

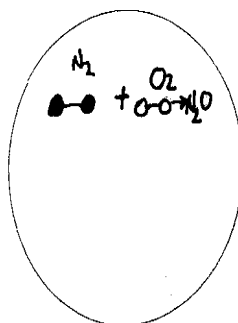
Tarea 6

<ol style="list-style-type: none"> 1. Consulta el cuadro de la tarea 5 para saber a qué elemento se parecerá un átomo cuando gana o pierde electrones. 2. Tiene dificultades para identificar si un átomo está neutro o no, cuando pierde o gana electrones. 3. Las cargas de los iones las puede determinar sólo con ayuda de la entrevistadora y por analogía con los otros átomos de la misma tarea. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si 1 átomo de oxígeno gana 2 electrones, su configuración electrónica es la del <u>Neón</u> y se transforma en un <u>O²⁻</u>. • Si 1 átomo de cloro gana 1 electrón, su configuración electrónica es la del <u>Argón</u> y se transforma en un <u>Cl¹⁻</u>. • Si 1 átomo de potasio pierde 1 electrón, su configuración electrónica es la del <u>Argón</u> y se transforma en un <u>K¹⁺</u>. • Si un átomo de magnesio pierde 2 electrones, su configuración electrónica es la del <u>Neón</u> y se transforma en un <u>Mg²⁺</u>.
--	--

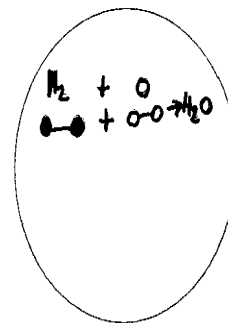
Tarea A

Explica las representaciones del aire y el agua diciendo: "el aire... con moléculas de nitrógeno y de oxígeno, porque ambas forman el aire. Y el agua, con moléculas de oxígeno y de hidrógeno..."

AIRE



AGUA



Tarea B

Considera que las sustancias son puras cuando se combinan esferitas (átomos) del mismo color, caso contrario, si se combinan esferitas de diferentes colores, se trata de una mezcla. De esta manera, el alumno considera que: "La 1, es mezcla porque hay dos clases de sustancias mezcladas, de distinto color. La 2, es mezcla, la 3 mezcla, porque se unen átomos diferentes, de distinto color. La 4 es sustancia pura, porque se unen átomos del mismo color; la 5, es pura porque es la misma sustancia. La 6, es mezcla, la 7 también, la 8 y la 9 igual. Son mezclas porque se unen átomos de diferente color."

Anexo 4

MÓDULOS CATEGORIALES

Módulo	Modelo del aire antes de la entrevista		
1	Ítems	Variable	Contenido
	1	Aire_A	Modelo utilizado para representar el aire de modo espontáneo

1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN

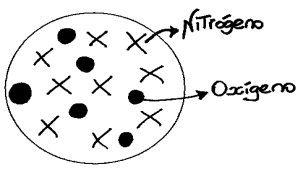
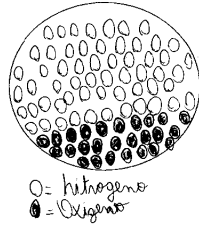
Jul Gim	Jul: "No sé cómo dibujarlo...es que no me lo imagino, por eso no lo puedo dibujar."	Gim: "No sé como dibujarlos..."

2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS

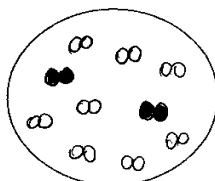
Agu Cat Cla Rey Gui	Agu: "Es de lo que hay mayor porcentaje, entonces ocupa todo, mientras que de oxígeno hay menos".	Cat: "Los cuadritos serían el oxígeno y lo que sobra sería el nitrógeno".
	Rey: "Acá el nitrógeno es todo esto, lo más grande porque hay más... y esto otro vendría a ser el oxígeno... Esto chiquitito son partículas en movimiento, eso que vemos al trasluz en el aire..."	Cla: "En el aire las líneas representan el nitrógeno que es de lo que hay más, en cambio, los puntitos representan al oxígeno."

3. REPRESENTAN EL AIRE CON SÍMBOLOS QUE PUEDEN SIGNIFICAR MOLÉCULAS DE SUS COMPONENTES

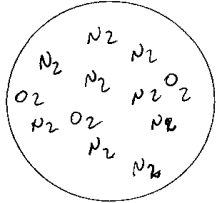
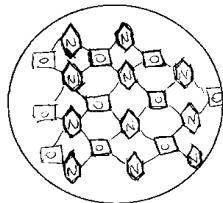
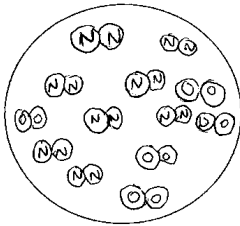
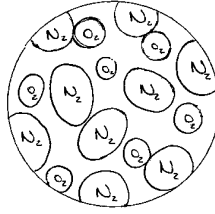
Fra Gab Gac Gua Jos Mar Mic Luc Mav Gal Ric Mas Ina Cia Nan Var	Fra: "Acá serían las de nitrógeno, 8 y las 2 serían de oxígeno...por los porcentajes".	Jos: "No vería las moléculas de oxígeno, sólo las de nitrógeno...las de oxígeno son poquitas".

Pab Dan		
------------	---	---

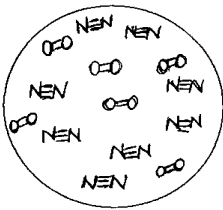
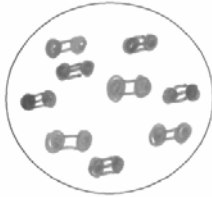
4. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO PERO USANDO SÍMBOLOS ARBITRARIOS PARA REFERIRSE A LOS ÁTOMOS QUE ESTÁN FORMANDO MOLÉCULAS

Mat Fac Rac Mel Flo Nie	<p>Fac: "Como dice que hay mas nitrógeno que oxígeno, en una proporción de casi 8 a 2, hice 8 moléculas de nitrógeno y 2 de oxígeno... las de oxígeno las hice mas grandes porque la masa del oxígeno es 16 y la del nitrógeno, 14"</p> 	<p>Rac: "Acá en el aire, las 2 moléculas negras son oxígeno, que por lo que sabemos, solo hay un 20 por ciento y casi un 80 de nitrógeno, que serian las otras moléculas... estas moléculas son biatómicas, por eso hice 2".</p> 
--	---	--

5. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS SIN CONCRETAR LOS ENLACES QUÍMICOS

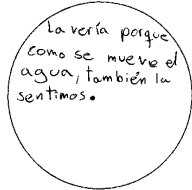
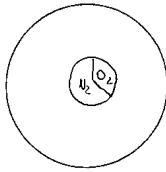
Ago Oli Her Jer Vic Pao Ang	<p>Pao: "Acá represente las moléculas de nitrógeno y oxígeno, aunque el aire también tiene otros componentes, otros gases... pero puse nada mas que lo que dice ahí".</p> 	<p>Her: "En realidad no las veríamos porque son partículas muy diminutas... en el aire, hay mayor cantidad de nitrógeno y tendrían que estar de a 2 porque son moléculas biatómicas, pero yo las represente como un rombo, y en el oxígeno pasa lo mismo, es biatómica... y bueno, esas moléculas están unidas, por eso el guión... pero en realidad eso es algo imaginado lo de las uniones químicas porque no se ven."</p> 
	<p>Oli: "Hay más moléculas de nitrógeno porque hay mayor porcentaje de este componente, en cambio de oxígeno hay menos".</p> 	<p>Ago: "El aire tiene muchas moléculas de oxígeno y nitrógeno, pero de nitrógeno hay más por lo que dice el porcentaje..."</p> 

6. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS Y DIBUJANDO LOS ENLACES QUÍMICOS

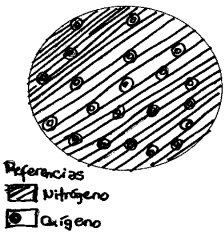
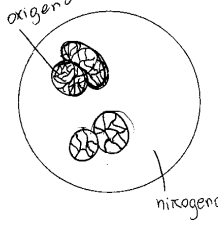
<p>Kar Bel</p>	<p>Kar: "Acá el aire esta formado por moléculas de nitrógeno y de oxígeno. Las de nitrógeno tienen 2 átomos unidos por triple enlace y las de oxígeno, por doble enlace..."</p> 	<p>Bel: "Las moléculas rojas son del oxígeno, y las marrones del nitrógeno, las hice con el enlace doble y triple que unen sus átomos".</p> 
--------------------	---	---

Módulo	Modelo del aire después de la entrevista		
2	Ítems	Variable	Contenido
	Aire_B	Modelo utilizado para representar el aire después de aprender química	

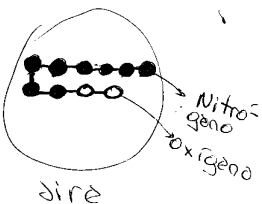
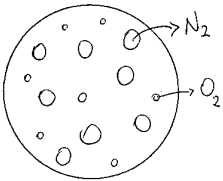
1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN

Jul Gim	Jul: "No sé cómo dibujarlo... es que no me lo imagino, por eso no lo puedo dibujar".	Gim: "No sé como dibujarlos..."
		

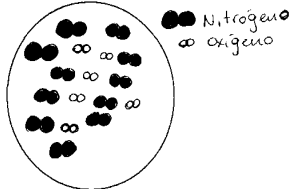
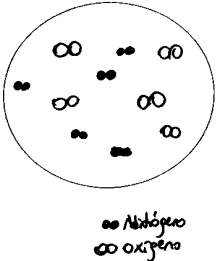
2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS

Agu Cat	Agu: "Es de lo que hay mayor porcentaje, entonces ocupa todo, mientras que de oxígeno hay menos".	Cat: "Los cuadritos serían el oxígeno y lo que sobra sería el nitrógeno".
		

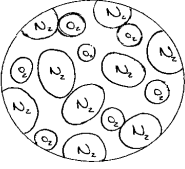
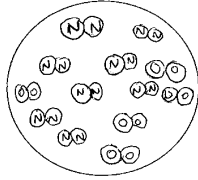
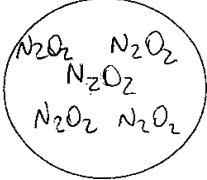
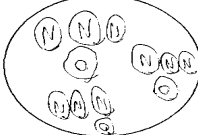
3. REPRESENTAN EL AIRE CON SÍMBOLOS QUE PUEDEN SIGNIFICAR MOLÉCULAS DE SUS COMPONENTES

Fra Gab Jos Mar Mic Luc Mav Ric Ang Gui Cia Pab Dan	Fra: "Acá serían las de nitrógeno, 8 y las 2 serían de oxígeno... por los porcentajes".	Mav: "Las pelotitas grandes son nitrógeno y las chiquitas oxígeno".
		

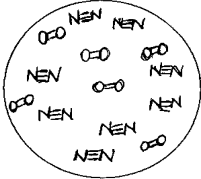
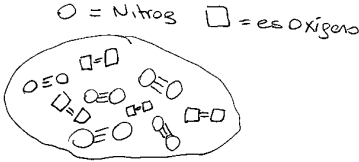
4. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO PERO USANDO SÍMBOLOS ARBITRARIOS PARA REFERIRSE A LOS ÁTOMOS QUE ESTÁN FORMANDO MOLÉCULAS

Gua Mat Rac Mel Flo Pao	Mat: "El aire que está representado por nitrógeno y oxígeno, que de este hay menos cantidad. Las moléculas de nitrógeno y de oxígeno son biatómicas, por eso están de a dos." (El tamaño de las moléculas es aleatorio).	Mel:
		

5. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS SIN CONCRETAR LOS ENLACES QUÍMICOS

<p>Ago Oli Her Jer Vic Gac Nan Var Nie Cla Ina Rey</p>	<p>Ago: "El aire tiene muchas moléculas de oxígeno y nitrógeno, pero de nitrógeno hay más por lo que dice el porcentaje..."</p> 	<p>Oli: "Hay más moléculas de nitrógeno porque hay mayor porcentaje de este componente, en cambio de oxígeno hay menos".</p> 
	<p>Vic: "El aire está formado por moléculas de nitrógeno y oxígeno que están unidas entre sí como si formaran una sustancia N₂O₂".</p> 	<p>Jer: "En el aire representé más moléculas de nitrógeno que de oxígeno porque así dice en los porcentajes. Cada esfera de estas (señala en el dibujo) representa a la molécula de nitrógeno que tiene 2 átomos y esta otra a la de oxígeno que también tiene 2 átomos (señala en el dibujo)".</p> 

6. REPRESENTAN EL AIRE A NIVEL ATÓMICO USANDO SÍMBOLOS QUÍMICOS Y DIBUJANDO LOS ENLACES QUÍMICOS

<p>Kar Bel Fac Gal Mas</p>	<p>Kar: "Acá el aire está formado por moléculas de nitrógeno y de oxígeno. Las de nitrógeno tienen dos átomos unidos por triple enlace y las de oxígeno, por doble enlace..."</p> 	<p>Mas:</p> 
--	---	--

Modelo del agua antes de la entrevista

3

Ítems

Variable

Contenido

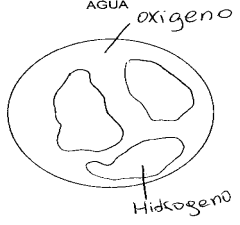
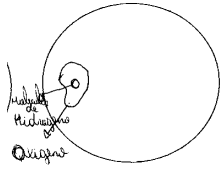
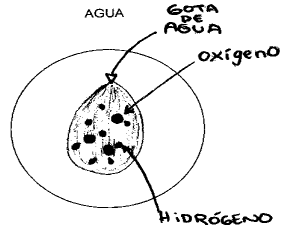
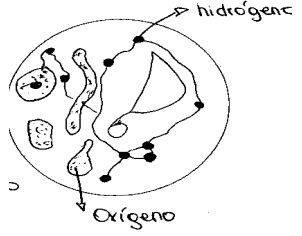
Agua_A

Modelo utilizado para representar el agua de modo espontáneo

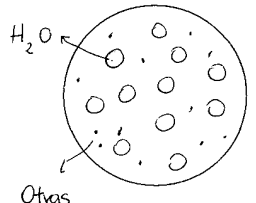
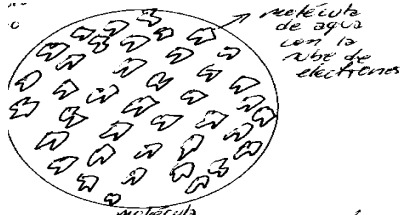
1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN

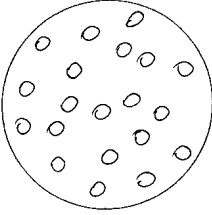
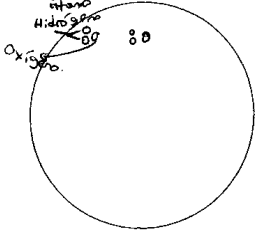
Jul	Jul: 
-----	---

2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS

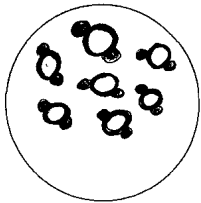
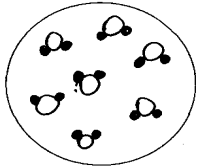
Cat Jos Gac Cla Gui	<p>Cat: "El hidrógeno es esto... y lo que nos sobra sería el oxígeno".</p> 	<p>Jos: "Al agua la vería... así como sustancia... las moléculas de hidrógeno estarían hacia adentro y las de oxígeno, estas más grande". Ante la pregunta de porqué lo más grande es oxígeno, responde: "porque es... como más aire, que se expande... y las de hidrógeno, así chicas, cerradas, y que se quedan en un solo lugar, no se expanden."</p> 
	<p>Gac: "Esto sería como la gota de agua, porque cuando fui al laboratorio la profesora de Biología se pinchó el dedo para que viéramos la sangre en el microscópico, entonces se veía la burbuja en la placa y con el microscopio veíamos los glóbulos rojos que son como pequeñas pelotitas y... yo imaginé que con el agua sería lo mismo, nada más que como el agua es transparente, lo tenía que representar así..."</p> 	<p>Cla: "En el agua, el oxígeno lo represento con puntitos y el hidrógeno son los puntos más grandes."</p> 

3. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE IDENTIFICAN COMO MOLÉCULAS

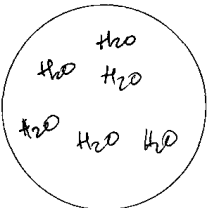
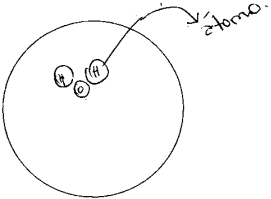
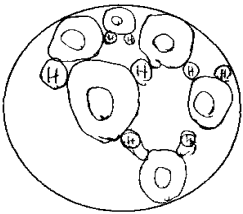
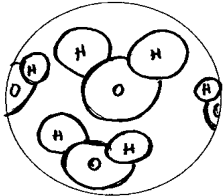
Fra Gua Mav Gal Mas Ric Ang Mar Flo Ina Rey Dan	<p>Mav: "El agua no está sola, tiene otros componentes, por ejemplo cloro del procesos de potabilización y minerales, por eso puse otras..."</p> 	<p>Ric:</p>  <p>Los átomos que pose el agua están un poco más juntos, y que es menor la fuerza de repulsión entre cada una.</p>
--	--	---

	<p>Dan: "El agua la he dibujado con las moléculas de agua, pero también tiene cloro, que no lo he dibujado."</p> 	<p>Ina: "En el caso del agua que es H₂O, sería más o menos lo mismo, porque por cada 2 moléculas de hidrógeno, hay una de oxígeno y lo vería como un grupito de 3 moléculas: o sea 2 de hidrógeno y una de oxígeno y se verían separadas... (piensa) No, no serían 3 moléculas, me equivoqué, son 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno que forman una molécula de agua..."</p> 
--	--	--

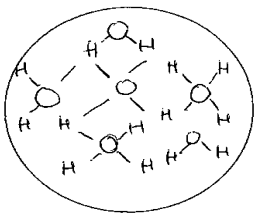
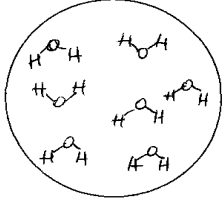
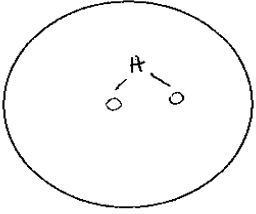
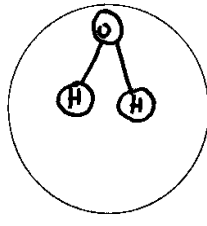
4. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIMBOLIZAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, PERO NO SE ESPECIFICA LA COMPOSICIÓN

<p>Luc Mat Bel Fac Rac Mel Cia</p>	<p>Mat: "El agua la represento así, como la vimos en clase".</p> 	<p>Luc</p> 
--	---	--


5. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIMBOLIZAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, Y ESPECIFICANDO LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA

<p>Pao Mic Agu Gab Ago Jer Pab</p>	<p>Pao:</p> 	<p>Mic:</p> 
<p>Jer: "Representé las moléculas... por cada oxígeno hay dos hidrógeno... además el oxígeno es más grande que el hidrógeno, es más grande..."</p> 	<p>Agu:</p> 	

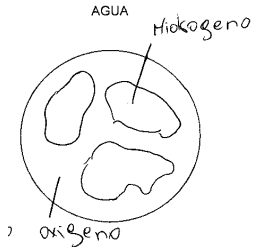
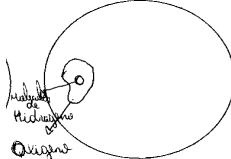
6. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIMBOLIZAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, ESPECIFICANDO LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA Y LOS ENLACES ENTRE LOS ATOMOS

<p>Oli Her Kar Gim Vic Var Nan Nie</p>	<p>Oli: "Esta sería agua líquida... y las moléculas están unidas por puente de hidrógeno".</p> 	<p>Kar: "El agua, acá representé como que está en estado gaseoso por lo que están separadas".</p> 
	<p>Gim: "En el agua, sólo como la molécula". Represento una sola porque da lo mismo una que varias, es lo mismo".</p> 	<p>Nan: "Bueno, al agua la he puesto como una estructura o sea como una unión entre 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno."</p> 

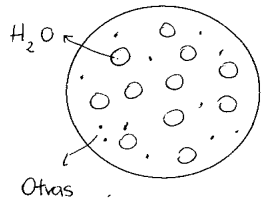
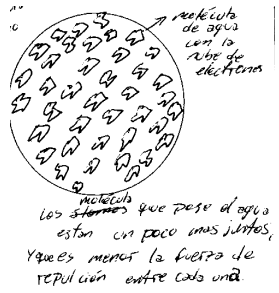
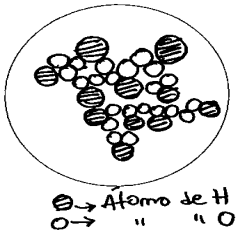
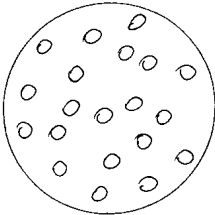
1. CARECEN DE ELEMENTOS PARA HACER LA REPRESENTACIÓN

Jul	
-----	---

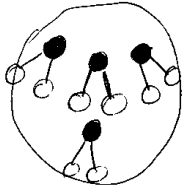
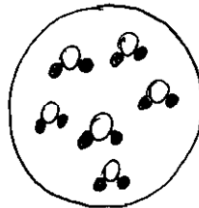
2. MEZCLAN ELEMENTOS MACROSCÓPICOS CON LOS MICROSCÓPICOS

Cat Jos	<p>Cat: "El hidrógeno es esto... y lo que nos sobra sería el oxígeno".</p> 	<p>Jos: "Al agua la vería... así como sustancia... las moléculas de hidrógeno estarían hacia adentro y las de oxígeno, estas más grande". Ante la pregunta de porqué lo más grande es oxígeno, responde: "porque es... como más aire, que se expande... y las de hidrógeno, así chicas, cerradas, y que se quedan en un solo lugar, no se expanden."</p> 
------------	--	---

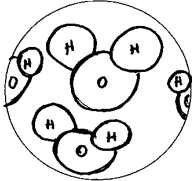
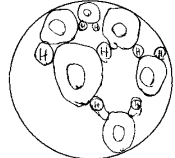
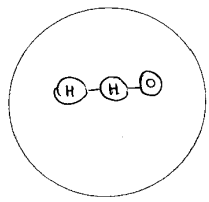
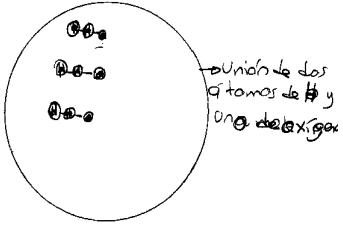
3. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE IDENTIFICAN COMO MOLÉCULAS

Mav Ric Ang Flo Gui Dan	<p>Mav: "El agua no está sola, tiene otros componentes, por ejemplo cloro del proceso de potabilización y minerales, por eso puse otras..."</p> 	<p>Ric:</p> 
Flo:		<p>Dan: "El agua la he dibujado con las moléculas de agua, pero también tiene cloro, que no lo he dibujado."</p> 

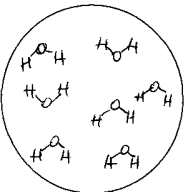
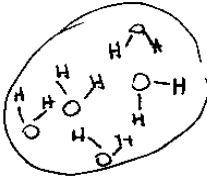
4. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIMBOLIZAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, PERO NO SE ESPECIFICA LA COMPOSICIÓN

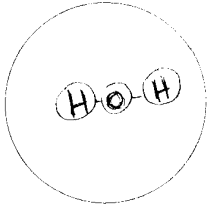
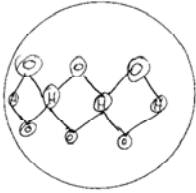
Fra Gua Luc Mat Bel Rac Pao Mar Fac Gal Mel Cia	Fra 	Pao: 
--	--	---

5. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIMBOLIZAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, Y ESPECIFICANDO LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA

Ago Agu Gab Jer Mic Rey Ina Cla Pab	Agu: 	Jer: 
	Cla: "...el agua con 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno..." 	Ina: "El agua estaría formada por moléculas de agua que tiene hidrógeno y oxígeno". 

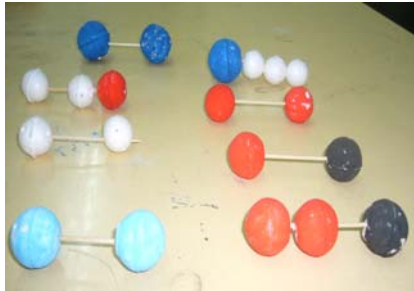
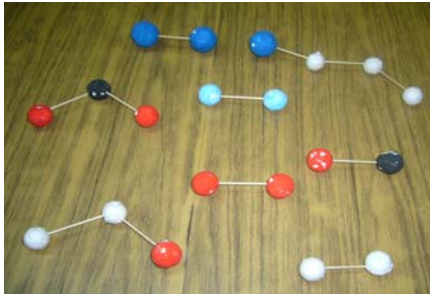
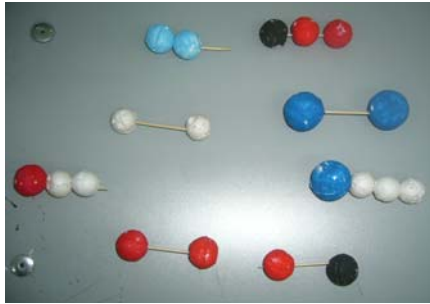

6. REPRESENTAN EL AGUA CON SÍMBOLOS ARBITRARIOS QUE SIMBOLIZAN ÁTOMOS FORMANDO MOLÉCULAS, ESPECIFICANDO LA COMPOSICIÓN DE LOS ÁTOMOS QUE CONSTITUYEN LA MOLÉCULA Y LOS ENLACES ENTRE LOS ATOMOS

Oli Her Kar Gim Vic Mas Gac Var Nie Nan	Kar: 	Mas 
--	---	--


	<p>Gac:</p> 	<p>Var: "En el agua, he dibujado moléculas que están unidas por unión puente de hidrógeno".</p> 
--	---	---

Módulo	Construcción de moléculas según modelo de bolas y varillas a partir de la fórmula molecular		
5	Ítems	Variable	Contenido
	Act.1	Molecu	Partiendo de las fórmulas moleculares de sustancias comunes, los alumnos han de construir un modelo de bolas y varillas para las especies constituyentes de las mismas.


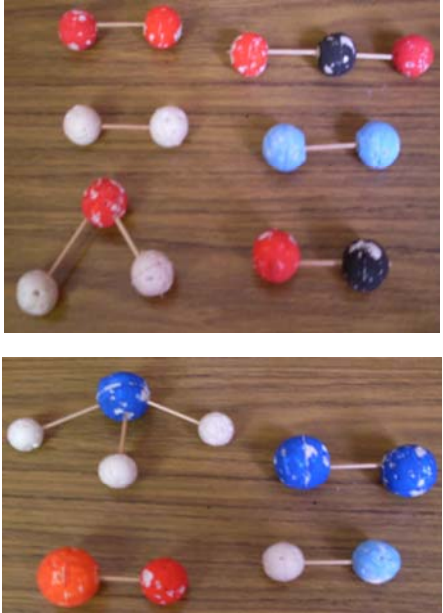
1. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA EN UN ORDEN ARBITRARIO

Agu Cat Fra Gab Gac Gua Jos Jul Mic Mar Jer Pao Ina Cla Gui Cia	<p>Gac: (El orden) <i>“Es sin ninguna razón especial”.</i></p> 	<p>Mar: <i>“No se, lo hice como me parecía.”</i> (En referencia a si en la molécula de agua el átomo de oxígeno puede ir entre los 2 átomos de hidrógeno).</p> 
	<p>Jos: (Cuando termina de hacer cada modelo) <i>“Un átomo de carbono y 2 átomos de oxígeno: un molécula de dióxido de carbono”.</i></p> 	<p>Gua: <i>“En el amoniaco pongo el N y después los 3 H seguidos, como dice acá”</i> (Señala la formula en la guía). <i>“Lo mismo acá en el dióxido de carbono, el carbono y después los 2 oxígeno”.</i></p> 

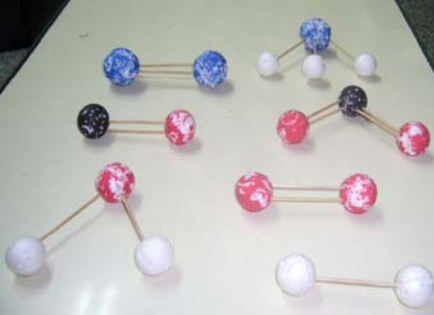
2. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR CONSIGUIENDO LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LA MOLÉCULA CON ALGUNAS EXCEPCIONES

Ago Her Gim Mav Vic Ang Rac Mas Mel Ric Rey Nan Var Pab Nie	<p>Nie:</p> 	<p>Gim:</p> 
---	---	--

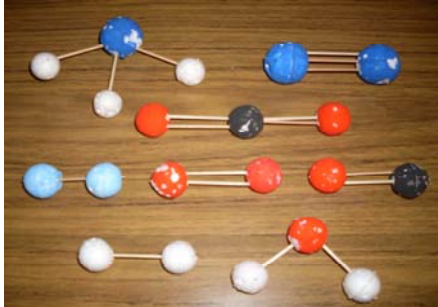
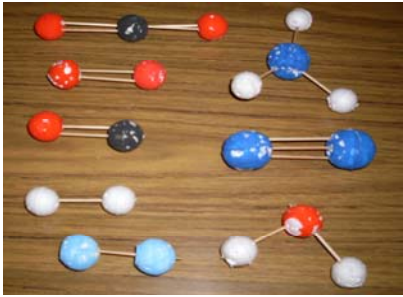
3. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR CONSIGUIENDO LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LA MOLÉCULA EN TODOS LOS CASOS

<p>Oli Dan</p>	<p>Oli: "La molécula de agua está a 120°.... creo...la unión del H con los O es de 120° ¿o no?"</p> 	<p>Dan:</p> 
--------------------	---	--

4. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR EXPLICITANDO, ADEMÁS DE LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LAS MOLÉCULAS, EL NÚMERO DE ENLACES CORRECTO CON ALGUNA/AS EXCEPCIÓN/ES

<p>Kar Luc Mat</p>	<p>Mat, (Respecto al enlace entre el C y el O para formar monóxido de carbono): "Comparten 2 electrones... porque hacen falta 2 electrones para completar el ultimo nivel al oxígeno, pero a carbono también le hace falta... es un enlace doble".</p> 	<p>Kar : Realiza los enlaces en papel y luego arma las moléculas. "El oxígeno tiene 6 electrones y... le faltan 2" (mira la tabla periódica y trabaja).</p> 
----------------------------	--	--

5. UNEN LOS ÁTOMOS INDICADOS EN LA FÓRMULA MOLECULAR EXPLICITANDO, ADEMÁS DE LA FORMA Y ESTRUCTURA ADECUADA DE LAS MOLÉCULAS, EL NÚMERO DE ENLACES CORRECTO EN TODOS LOS CASOS

<p>Bel Fac Gal Flo</p>	<p>Bel: "En el ultimo nivel el oxigeno tiene 6 electrones, le faltan 2 para llegar al octeto... entonces se une con otro oxigeno y forman un enlace covalente". "Ahora viene el dióxido de carbono... (Piensa) ah!! Claro al oxigeno le faltan 2 y al carbono, 4, entonces vienen uno de cada lado del carbono..."</p> 	<p>Fac: (Respecto a la molécula de oxigeno): "Los 2 palillos es porque tienen un doble enlace, son los puentes por donde se une () se unen por enlaces de electrones para formar moléculas". (Los palillos) "son los electrones que se unen para ser mas estables, para formar moléculas más estables y quedar en el ultimo nivel con 8 electrones y parecerse a los gases nobles".</p> 
------------------------------------	--	---

Utilidad relativa de los modelos concretos de bolas y varillas frente a las fórmulas químicas

6

Ítems

Variable



Contenido

Act. 3

Reac_1


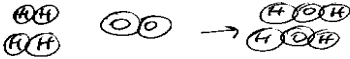
A partir de las sustancias que intervienen en una reacción química, se analiza si el alumno elige explicar la reacción a partir de los modelos de bolas y varillas, previamente construidos, o si prefiere utilizar fórmulas químicas, ajustar la reacción y posteriormente, usar los modelos concretos.

1. CONSTRUYEN LOS MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS DE LAS SUSTANCIAS QUE INTERVIENEN EN LAS REACCIONES Y POSTERIORMENTE TRATAN DE ESCRIBIR SUS FÓRMULAS QUÍMICAS, SIN DEMOSTRAR QUE HAYA RELACIÓN ENTRE AMBAS REPRESENTACIONES.

Jos Mar Agu Cat Jul Ago Oli Kar Gim Luc Mav Vic Rey Var Pab	<p>Jos: En la reacción entre el hidrogeno y el cloro, escribe el producto como: "HCl_2", no obstante, presenta el siguiente modelo que muestra las 2 moléculas de HCl.</p> 	<p>Mar: En la reacción entre el nitrógeno e hidrógeno, comienza a armar la reacción tomando un solo átomo de hidrógeno. Ante la pregunta de la entrevistadora sobre cómo está formada la molécula de hidrógeno, ahí advierte (mirando el cuadro de la actividad 1) que son 2 las esferitas y no una, sin embargo forma 2 moléculas de amoniaco con un átomo de H y uno de N. El entrevistador, le solicita que mire cómo está formada la molécula en la guía y responde: "<i>Nitrógeno uno y hidrógeno, 3</i>". Advierte que está mal y piensa cómo arreglarla, al mismo tiempo se queja de estar cansado de pensar. Resuelve la situación agregando al N la molécula de hidrógeno y sacando de la bolsa un tercer átomo de hidrógeno. El entrevistador, le hace notar que los átomos forman parte de moléculas, le explica que los átomos no están "solos" en la naturaleza... Para escribir la ecuación, se fija en la guía cómo están formadas las moléculas de nitrógeno y de hidrógeno; comienza escribiendo los reactivos:</p> $2 N_2 + 2 H_2 \longrightarrow 2 NH_3$ <p>La entrevistadora le pregunta sobre lo que tiene escrito: ¿si fueran 2 moléculas de nitrógeno cuántos átomos tendría? y él responde que 4, luego se le solicita que mire los modelos realizados y advierte que tiene 2 átomos y lo corrige... Se le pregunta lo mismo pero acerca del hidrógeno (en el producto) y responde que tiene 6, por lo tanto serán 3 moléculas.</p> 
---	---	---

	<p>Rey: Escribe: $2 H + O \longrightarrow 2 H_2O$ "¿Tengo que indicar acá en el hidrógeno que son 2 átomos? Ah! Sí, porque 2 átomos forman una molécula y en la naturaleza existen moléculas..." (Advierte la constitución de la molécula de hidrógeno).</p> <p>En el cloruro de hidrógeno, escribe en primer lugar la ecuación: "Tengo cloro Cl_2 y tengo hidrógeno H_2 (y escribe $Cl_2 + H_2 \longrightarrow 2 H_2Cl_2$) Forma una molécula que tiene 2 átomos de H y 2 átomos de Cl. Ver foto 4. Luego se le pide que compare la fórmula que ha escrito con la que figura en la guía, advierte el error y corrige la fórmula, también la molécula que armó.</p> <p>b) Cloro + Hidrógeno → Cloruro de hidrógeno (HCl)</p> <p>$Cl_2 + H_2 \longrightarrow H_2Cl_2$ $2 HCl$</p>	<p>Var: Representa las ecuaciones con los modelos de bolas y varillas, sin embargo cuando tiene que explicar, confunde átomos con moléculas. En el agua: "Formé una molécula de agua y con el oxígeno libre que quedó, lo agrupé con 2 moléculas de hidrógeno para formar otra de agua." Habla de 2 moléculas cuando en realidad es una molécula, confunde átomos con moléculas. Al escribir la ecuación escribe un átomo de oxígeno como reactivo, cuando en realidad reacciona una molécula, justifica diciendo: "es que reaccionó un solo átomo y formó una molécula de agua". La entrevistadora le hace notar que en la naturaleza existen moléculas, no átomos.</p>
--	--	--

2. CONSTRUYEN LOS MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS DE LAS SUSTANCIAS QUE INTERVIENEN EN LAS REACCIONES Y POSTERIORMENTE TRATAN DE ESCRIBIR SUS FÓRMULAS QUÍMICAS, DEMOSTRANDO QUE COMPRENDEN LA RELACIÓN ENTRE AMBAS REPRESENTACIONES.

<p>Gua Mic Fra Gab Gac Her Jer Mat Ric Ina Cla Gui Cia Nan</p>	<p>Mic: Hace el modelo de bolas y varillas para la formación del agua y en la ecuación de formación dice: "En el hidrógeno, la fórmula es H_2 pero yo ocupo un solo átomo..." (Se refiere a que un solo átomo de oxígeno forma la molécula de agua).</p>	<p>Gac: En la reacción entre el cloro y el hidrógeno representa los modelos de cloro e hidrogeno sin dificultad, sin embargo en un principio presenta un modelo de cloruro de hidrógeno en el que están unidos en forma alternada los 2 hidrogeno y los 2 cloro. Sin embargo, cuando mira en la guía como está formada la molécula de cloruro de hidrógeno, rectifica y corrige el modelo, es decir forma las 2 moléculas del cloruro de hidrógeno. Luego, la ecuación la representa sin dificultad.</p> 
	<p>Ina: "Tomé una molécula de oxígeno que está formada por 2 átomos...pero un solo oxígeno se unió a una molécula de hidrógeno, entonces tenemos: $H_2 + O \longrightarrow H_2O$ y el otro oxígeno se unió a otra molécula de hidrógeno y se formó otra de agua, entonces tenemos de nuevo: $H_2 + O \longrightarrow H_2O$ Entonces si hago los dibujitos sería": (dibuja 2 moléculas de hidrógeno + una molécula de oxígeno y se forman 2 moléculas de agua). En este punto, le explico cómo se escribe eso que ha hecho con las fórmulas, es decir: $2 H_2 + O_2 \longrightarrow 2 H_2O$.</p> <p>a) Hidrógeno + Oxígeno → Agua</p> <p>$H_2 + O = H_2O$</p> <p>$2 H_2 + O_2 = 2 H_2O$</p> 	<p>Cla: Al escribir la ecuación: $3 H + 2 N \longrightarrow NH_3$ y dice: "Tengo 3 átomos de hidrógeno más 2 de nitrógeno".</p> <p>E: ¿Átomos?</p> <p>A: Sí, (dudosamente) no, 3 moléculas... Al principio empecé (se refiere a cuando empezó a armar el modelo de bolas y varillas) con una molécula de nitrógeno y 3 de hidrógeno, pero después usé 3 átomos de hidrógeno y uno de nitrógeno para formar el amoníaco...</p> <p>E: Bien... entonces ¿cuántas moléculas de hidrógeno usaste?</p> <p>A: 3</p> <p>E: Y ahí dice 3 H ¿y cómo está formada la molécula de hidrógeno?</p> <p>A: Por 2 átomos.</p> <p>E: Y está bien escrito así?</p> <p>A: No, no está bien. Lo corrijo abajo. (Escribe $H_2 + N_2 \longrightarrow NH_3$)</p> <p>A: Tengo que poner un 2 (escribe H_2)</p> <p>E: ¿Y cuántas moléculas de nitrógeno usaste? ¿Y cuántas de amoníaco se obtuvieron?</p> <p>A: Usé 3 de hidrógeno y obtuve 2 de amoníaco.</p> <p>d) Nitrógeno + Hidrógeno → Amoníaco (NH_3)</p> <p>$3 H_2 + 2 N \longrightarrow NH_3$</p> <p>$3 H_2 + N_2 \longrightarrow 2 NH_3$</p>

3. ESCRIBEN LAS ECUACIONES QUÍMICAS, LAS AJUSTAN Y, A CONTINUACIÓN, ARMAN LOS MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS MOSTRANDO QUE ÉSTOS LE AYUDAN A COMPRENDER MEJOR LAS ECUACIONES.

Ang Bel Fac Gal Pao Mel Nie Dan	Ang: En primer lugar hace las ecuaciones en el papel y luego los modelos de bolas y varillas. Sin embargo, tiene dificultades para relacionar las ecuaciones con los modelos de bolas. En algunos casos, saca las esferitas de las bolsas y así va formando el producto. Por ejemplo, en la formación de agua a partir del hidrógeno y el oxígeno, forma la primera molécula y con el átomo de oxígeno que queda, dice: <i>"lo uno por puente de hidrógeno a esta molécula"</i> . La entrevistadora le sugiere que mire la fórmula del agua y ahí advierte el error y lo corrige.	Gal: Se desorienta tratando de hacer las reacciones con los modelos por lo que primero plantea la reacción en el papel y luego hace el modelo.
--	---	--

4. ESCRIBEN LAS ECUACIONES QUÍMICAS, LAS AJUSTAN Y, A CONTINUACIÓN, ARMAN LOS MODELOS DE BOLAS Y VARILLAS SIN DEMOSTRAR QUE ESTOS MODELOS LE APORTEN MÁS CONOCIMIENTO DEL QUE YA TIENEN.

Rac Mas Flo	Mas: Hace en primer lugar las ecuaciones químicas ajustadas y luego realiza los modelos de bolas y varillas. No tiene dificultades en esta actividad.	Flo: Escribe primero las ecuaciones químicas y luego hace los modelos de bolas y varillas manifestando que: <i>"los enlaces se rompen para que puedan unirse los enlaces de la sustancia que ingresa"</i> , así mismo identifica en cada caso el tipo de enlace, así en el agua, en el cloruro de hidrógeno y en el amoníaco, dice que es covalente, mientras que en el óxido de cobre es iónico.
-------------------	---	---

Interpretación de una reacción química mediante construcciones moleculares de bolas y varillas

7

Ítems

Variable

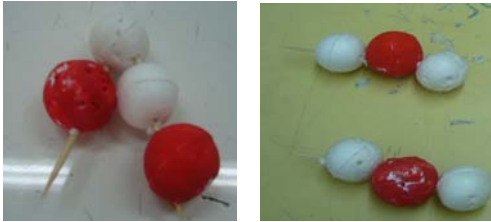
Contenido

Act. 3

Reac_2

A partir de las sustancias que intervienen en una reacción química, y de las estructuras moleculares y macromoleculares previamente construidas, los alumnos han de interpretar la reacción y escribir la ecuación química correspondiente

1. INTRODUCE ELEMENTOS MACROSCOPICOS EN EL PROCESO Y CONSTRUYE PRODUCTOS SIN COMPRENDER EL SIGNIFICADO DE MOLECULA

Fra Jos	<p>Fra: Forma la molécula de agua y la justifica: "Si hay 2 personas, una puede respirar por este lado y la otra por este, pero siempre va a ver agua entre medio, el oxígeno siempre va a estar. A ver... largamos oxígeno de abajo para arriba.... a ver suponte que estás nadando y vos largas el aire abajo, entonces antes de que llegue el aire hasta la superficie, vamos a encontrar agua. Entonces por eso lo represento así... ¿Te he confundido verdad? A ver... porque están mezclados.... Para mí en el agua están mezclados el hidrógeno con el oxígeno, por eso es así la molécula." Cuando la entrevistadora le dice que mire la fórmula de la molécula de agua y cómo está formada, responde: "por 2 átomos de H y uno de O" y al compararla con el modelo que realizó dice: "ah!!! Sí, tengo 2 átomos de H y 2 de O. Es que me confundí..." (La corrige).</p>	<p>Jos: Después que forma la primera molécula de agua y se le pregunta cómo hacer para formar otra molécula de agua a partir de ese átomo de oxígeno, dice luego de pensar: "No sé..." y luego: "yo creo que ésta (señala la molécula de agua) se iba haciendo más chiquita y se iba separando este oxígeno... pero no, no es así... no sé..." Luego, responde: "y tendría que poner más hidrógeno.... faltarían 2 átomos..." (Arma la segunda molécula).</p>
		

2. NO HA COMPRENDIDO EL SIGNIFICADO DE MOLECULA COMO UNIDAD IDENTIFICATORIA DE CADA SUSTANCIA Y PROPONE OTRAS UNIDADES ARBITRARIAS

Gac Mar Var Pab	<p>Gac: Al escribir la ecuación de formación del agua, se le pregunta cuántas moléculas de hidrógeno se utilizaron y responde: "Cuatro moléculas". Se le pregunta qué representan las esferitas blancas y responde: "moléculas", cuando representan átomos. Cuando escribe la ecuación de formación del óxido de cobre, escribe "Cu_2" entonces la entrevistadora le explica que en realidad son 2 átomos y ella dice: "Porque de la molécula grande (se refiere a la macromolécula del cobre) saqué 2".</p>	<p>Mar: Con respecto a la formación de la molécula de agua a partir de la molécula de hidrógeno y la de oxígeno, "Las moléculas se desarmen y toman otro orden" (Muestra una molécula de agua). En cuanto al átomo de oxígeno que queda, dice que "Hay que buscar más átomos de hidrógeno para formar más agua". "Se necesitarían 2 átomos solos". Saca las esferitas de la bolsa (que representan átomos) y forma la segunda molécula de agua. No forma previamente la molécula de hidrógeno.</p> <p>En la reacción entre el cobre y el oxígeno: "A la macromolécula del cobre, tendría que sacarle un átomo de cobre, (arma la molécula) pero... me quedaría un átomo de oxígeno solo, entonces... podría agregarle este oxígeno a la macromolécula de cobre..." La entrevistadora le dice que no puede ser porque habría muchos átomos de cobre y un solo oxígeno y que observe la fórmula. "tiene un cobre y un oxígeno, entonces no puede ser..."</p> <p>"¿Y no podríamos agregarle este O a la molécula que ya formamos?" No, porque ya no sería óxido de cobre. "sí, sí... entonces no sé..." "(piensa). "No tengo idea..." (Se muestra molesto, fastidiado). "¿Y si lo combinamos con otro átomo de cobre? ¿Se podrá? "Ah, sí, pienso que sí..." (Arma la segunda molécula de óxido de cobre).</p>
--------------------------	---	--



<p>Pab: En el caso del agua, arma las 2 moléculas de agua, sin embargo presenta dificultades al escribir la ecuación, ya que escribe: $4 H_2 + 2 O \rightarrow 2 H_2O$ y explica: "los 4 átomos de hidrógeno que son de las 2 moléculas, se unen con los 2 oxígenos de la molécula de oxígeno y se forman 2 moléculas de agua". Se le pregunta ¿qué quiere decir 2 O en la ecuación? Responde: "que reaccionan los 2 átomos de oxígeno". Se le pregunta de qué partió para hacer la reacción: "de la molécula de oxígeno", ¿Y cómo se escribe una molécula de oxígeno? "Como O₂" Fíjate que has escrito en la ecuación, ¿es lo mismo? "no, porque 2 O son 2 átomos". Bien, entonces corrige. Le pregunto ¿Y cuántas moléculas de hidrógeno usaste? "usé 2 moléculas y no 4" (advierde el error y corrige).</p> <p>a) Hidrógeno + Oxígeno → Agua</p> $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$	<p>Var: En el cloruro de hidrógeno: "se rompen las moléculas de cloro y la de hidrógeno y se intercambian los átomos y se forman las moléculas de cloruro de hidrógeno". En la ecuación, escribe: $2 Cl + 2 H \rightarrow 2 HCl$</p> <p>b) Cloro + Hidrógeno → Cloruro de hidrógeno (HCl)</p> $Cl_2 + H_2 \rightarrow 2 HCl$
--	---

3. SOLO AL PRINCIPIO DE LA ACTIVIDAD NO COMPRENDIÓ EL SIGNIFICADO DE MOLÉCULA COMO UNIDAD IDENTIFICATORIA DE CADA SUSTANCIA, PERO REACCIONA Y RECTIFICA

<p>Agu Cat Jul Oli Jer Ang Pao Cla Rey Cia</p>	<p>Agu: Respecto a la reacción entre cobre y oxígeno: "Desarmo la molécula de oxígeno para que se una con el cobre..... y se forman 2 moléculas de óxido de cobre". Al escribir la ecuación, escribe "Cu₂" porque dice que "son 2 átomos los que reaccionan". La entrevistadora responde que significaría que la molécula tiene 2 átomos de cobre, entonces le explica que no se trata de una molécula, sino de una macromolécula formada por muchos átomos y le pregunta al alumno si se trata entonces de una molécula, o de 2 átomos, a lo que el alumno responde: "son 2 átomos."</p> <p>Jul: En la ecuación, dice que utilizó una molécula de cobre (para formar las 2 moléculas de óxido de cobre); cuando en realidad utilizó 2 átomos de cobre. La entrevistadora le hace ver esto, es decir que de toda la macromolécula, sólo reaccionaron 2 átomos y él lo advierte. Cuando escribe la ecuación, considera al cobre como "Cu₂". La entrevistadora le pregunta qué significa eso y el responde que sería una molécula, entonces advierte el error, rectifica y escribe: "2 Cu".</p>	<p>Cat: Cuando hace la reacción química del agua, con el átomo de oxígeno que le sobra, saca más esferitas de hidrógeno de la bolsa (átomos) y arma otra molécula de agua, en vez de armar una molécula de hidrógeno. Pasa lo mismo con la reacción para formar el amoníaco. Ante la advertencia de la entrevistadora, corrige.</p> <p>Jer: Respecto a la molécula de agua: "Se rompe la molécula de oxígeno y se une con la molécula de hidrógeno". Cuando se le dice que el átomo de oxígeno no existe solo en la naturaleza, que se tiene que combinar y formar más agua, dice: "y... buscamos 2 H más".</p>
--	---	---

	<p>Cia: A: De una molécula de nitrógeno, se rompe y sale un átomo que se une a un átomo que también salió de una molécula de hidrógeno (explica mientras trabaja) y ahí se formaría la molécula de amoniaco (muestra una molécula formada por un átomo de nitrógeno y uno de hidrógeno).</p> <p>E: ¿Y cómo está formada la molécula de amoniaco? Mira la fórmula o la molécula que hiciste recién...</p> <p>A: Ah!! Tiene 3 átomos de hidrógeno... entonces necesito otra molécula de hidrógeno... El átomo de nitrógeno que quedó, se ve a unir con el de hidrógeno que quedó, peor como son 3 hidrógeno, voy a necesitar otra molécula de nitrógeno y así se forma la segunda molécula de amoniaco...(explica mientras va trabajando con las moléculas)</p> <p>E: Muy bien. ¿Y cómo escribirías la ecuación?</p> <p>A: Y... de nitrógeno usé 1 molécula, entonces es N más hidrógeno 3, que son estas 3 moléculas...</p> <p>E: ¿Y cómo se escribe la molécula de nitrógeno?</p> <p>A: Y son 2 átomos, ah!!! Es N₂</p> <p>E: Y la de hidrógeno?</p> <p>A: Son 6 átomos, que forman 3 moléculas, entonces... se escribe 3 H₂</p> <p>E: A ver ¿cómo escribirías una molécula de hidrógeno?</p> <p>A: H₂</p> <p>E: muy bien, pero vos usaste 3 moléculas ¿cómo las escribirías?</p> <p>A: 3 H₂</p> <p>E: Bien.</p> <p>A: Y se formaron estas 2 moléculas de amoniaco, o sea 2 NH₃</p>	<p>Cia: Realiza la reacción del cloruro de hidrógeno sin dificultades: "Tomé una molécula de cloro y una de hidrógeno, se separaron y se formó cloruro de hidrógeno, una molécula. Y con este cloro y este hidrógeno que sobraron formamos otra molécula de cloruro de hidrógeno." Al escribir la ecuación dice que utilizó una molécula de cloro y una de hidrógeno, pero escribe: $2 \text{ Cl} + 2 \text{ H} \longrightarrow 2 \text{ HCl}$, de inmediato advierte y corrige.</p>
--	--	---

4. DESDE EL PRINCIPIO MUESTRA BUENA COMPRESION DEL SIGNIFICADO DE MOLÉCULA COMO UNIDAD IDENTIFICATORIA DE CADA SUSTANCIA, PERO NO DEL SIGNIFICADO ESTRUCTURAL O TAMPOCO DE LA MACROMOLECULA

<p>Gab Mic Her Kar Mav Vic Ago Bel Rac Gal Luc Nie</p>	<p>Gab: Representa las 2 moléculas de agua con un orden diferente en la posición de los átomos y sostiene: "Es lo mismo porque las 2 tienen 2 de hidrógeno y uno de oxígeno". Sin embargo cuando se le pregunta si es importante el orden de los átomos, responde: "sí, si importa... porque creo que formarían otra cosa, no sé..." (Piensa) "no, es lo mismo porque las 2 son agua... lo que interesa es que tengan los mismos átomos". Es decir que considera que para que las moléculas sean iguales deben tener los mismos átomos sin importar la distribución de los mismos; sin embargo también considera que si la distribución de los átomos cambia, se formaría otra sustancia.</p> 	<p>Ago: En la reacción del grafito con el oxígeno para formar dióxido de carbono: la alumna expresa que "el CO₂ está formado por un átomo de carbono y 2 de oxígeno, pero es que no entiendo si es la molécula entera o el átomo" refiriéndose a si se trata de todo el grafito o a un átomo el que reacciona; Sin embargo cuando la entrevistadora le pregunta cuántos C tiene según la fórmula, ella dice: "O sea es un átomo." Y realiza el modelo.</p> 
	<p>Gal: Se muestra muy dudoso en la reacción del óxido cúprico, específicamente, al representar el reactivo de la reacción: "2 Cu", que él considera que "son 2 moléculas de cobre".</p>	<p>Her: En la reacción de formación de agua, la entrevistadora le dice que no puede quedar un átomo de oxígeno solo y él dice: "coloco el otro oxígeno acá y le pongo 2 más de hidrógeno" de esta manera indica la formación de la segunda molécula de agua.</p>

5. DESDE EL PRINCIPIO, MUESTRA BUENA COMPRESION DEL SIGNIFICADO DE MOLÉCULA COMO UNIDAD IDENTIFICATORIA DE CADA SUSTANCIA, Y TAMBIEN DEL CONCEPTO DE MACROMOLECULA

Gua Gim Mat Fac Mas Mel Flo Ric Ina Gui Nan Dan	<p>Gua: Con respecto a la molécula de agua: "El agua está formada por 2 de H y 1 de O... entonces es como que el hidrógeno consume a uno (se refiere a un átomo de O) y se desprende y después vienen otros 2 de H (se refiere a otra molécula de H) y consumen al otro... nada más que acá es mucho más rápido porque acá son 2 átomos. En cambio en el otro (se refiere al grafito) había más cantidad, desaparecían en más tiempo". En cuanto al átomo de oxígeno que sobra en la formación del agua: "Y vienen 2 átomos de H, se lo consumen y se forma otra molécula de agua." Para la reacción entre el cloro y el hidrógeno: "Es como que se consumen uno y uno (se refiere a un átomo de Cl y un átomo de O) entonces se desprenden 1 y 1 y después lo que sobra (otro átomo de Cl y otro átomo de H), se consumen... algo así..."</p>	<p>Ric: "Se rompe la molécula de hidrógeno y se adhiere al oxígeno... bueno reacciona con el oxígeno... a ver... la molécula de hidrógeno reacciona con un átomo de la molécula de oxígeno formando agua. Queda un átomo de oxígeno libre y toma otra molécula de hidrógeno y forma otra molécula de agua." (Se expresa con lenguaje científico).</p> <p>En la reacción del cobre con el oxígeno: "son muchos átomos de cobre... lo único que vamos a saber es cuanto reacciona de oxígeno con el cobre, pero no sabemos cuál es la cantidad de cobre ¿es así? Porque sólo va a reaccionar una parte de todo el cobre porque lo limita el oxígeno."</p>
	<p>Mat: Con respecto al átomo de oxígeno que sobra en la formación de agua: "un oxígeno, para formar otra molécula de agua... porque si no también puedo poner el oxígeno con la molécula de agua y formar agua oxigenada".</p>	<p>Fac: En la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno, con respecto al átomo de oxígeno que sobra, dice que no puede sobrar "Y porque no, porque tiene que formar una molécula, no puede estar un átomo así... entonces se combina con otra... con otro hidrógeno y formaría más agua..." Con respecto a la formación del dióxido de carbono: piensa y dice: "Ah!! Se rompen estos enlaces del grafito y se forma el dióxido..." Del carbono que sobra dice: "A ver... (Piensa) la reacción es la combustión y el CO₂ es el humo de la combustión lo que se desprende de la reacción, es la entalpía. El C restante son la cenizas, lo que sobra.</p>
	<p>Ina: En la reacción del cobre con el oxígeno: "Serían 2 átomos de oxígeno o sea una molécula, y de cobre usé 2 átomos de cobre, o sea ¿Cu₂? pero así estaría representando una molécula... (Piensa) porque si O₂ me representa 2 átomos, entonces Cu₂ me representa 2 átomos también... (Piensa) Pero Cu₂ indica que la molécula está formada por 2 átomos y no... no está formada por 2 porque es macromolécula y no sabemos cuántos átomos tiene, son muchos... y bueno le pongo Cu no más... ¿y un 2 adelante entonces?"</p>	<p>Gui: En la reacción del cobre con el oxígeno toma 2 átomos de la macromolécula de cobre y con la molécula de oxígeno, arma 2 moléculas de óxido de cobre. La ecuación la escribe como: $O_2 + Cu_2 \longrightarrow 2 CuO$ y dice que Cu₂ significa "una molécula", luego se le pregunta si el cobre es una molécula y responde: "No, es una macromolécula porque tiene muchos átomos... de esa macromolécula tomé 2 átomos..." y los indica como "2 Cu Porque Cu₂ sería una molécula de cobre que tiene 2 átomos y no... es una macromolécula".</p>

Interpretación de una reacción química mediante construcciones moleculares de bolas y varillas_2



Ítems

Variable

Contenido

Act. 4

Reac_3

A partir de un modelo representacional de bolas y varillas, los alumnos deben alcanzar a ajustar la ecuación química convenientemente

1. NECESITA AYUDA DURANTE TODA LA ACTIVIDAD, PUES NO PUEDE LLEGAR AL FINAL SIN ELLA

Mar Vic Jer Kar	Mar: El alumno muestra dificultades para realizar esta actividad y la resuelve con ayuda de la entrevistadora. Para formar la segunda molécula de agua dice "agrego 2 hidrógeno". Para él esta actividad "fue la más estresante, muy difícil..."	Jer: La entrevistadora le ayuda a ajustar las ecuaciones, pues el alumno muestra dificultades. En la reacción entre el H y el O para formar agua, dice: "quedaría un oxígeno sin unir"... "No, no puede quedar libre, tiene que unirse con 2 moléculas de hidrógeno".
--------------------------	--	---

2. EMPIEZA CON AYUDA Y CONTINÚA SIN ELLA, SALVO DE MODO PUNTUAL QUE LE HACE REACCIONAR Y CORREGIR

Agu Gac Mic Luc Mav Mas	Mas: En el caso del cobre, habla de "moléculas de cobre" en vez de "átomos de cobre". La entrevistadora cuando le pregunta si son átomos o moléculas, ahí se corrige y dice "átomos."	Agu: Al equilibrar la ecuación de óxido de cobre, escribe "Cu ₄ " para referirse a los 4 átomos de cobre que reaccionan. Nuevamente comete el mismo error. La entrevistadora le hace ver el error y ahí lo advierte y corrige.
--	---	---

3. EMPIEZA CON AYUDA PERO RÁPIDAMENTE SE HACE CON LA TAREA Y CONTINÚA SÓLO.

Fra Ago Her Bel Ang Gal Pao Cla Var Nan Pab	Ang: Equilibra las ecuaciones en primer lugar y las revisa sin dificultad. Realiza la actividad sin dificultades y se asombra de lo sencillo que es comprender estas ecuaciones trabajando primero con los modelos de bolas y varillas.	Pao: Se confunde y dice: "3 átomos de oxígeno" en vez de 3 moléculas, pero cuando se le vuelve a preguntar, lo dice bien. Equilibra las ecuaciones en primer lugar y las revisa sin dificultad.
---	---	---

4. DESDE EL PRINCIPIO, MUESTRA GRAN DESTREZA EN LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD.

Cat Gab Gua Jos Jul Oli Gim Mat Fac Mel Ric Rac Flo Ina Rey Gui Cia Nie Dan	Gab: La alumna no muestra dificultades para realizar esta actividad y la hace bien. Por ejemplo, con respecto al óxido de cobre: "Sobra cobre..." "...Conté los de cobre y los de oxígeno y para formar el óxido de cobre necesitamos uno de cada uno"... como hay 6 de oxígeno y 12 de cobre, tengo que sacar 6 de cobre...y se formarán 6 de óxido de cobre..."	Oli: Interpreta la conservación de átomos en las reacciones químicas, por ejemplo: "Pero no puede ser porque acá hay 12 átomos de cobre y hay 6 átomos de oxígeno... Tienen que haber 12 átomos de Cu y 12 átomos de O para que se formen... porque no pueden quedar Cu libres. Entonces... tiene que haber la misma cantidad de Cu y la misma cantidad de O para que se formen las moléculas de CuO.". Lo mismo en la reacción entre el Hidrógeno y el oxígeno y entre el hidrógeno y el nitrógeno.
	Rey: Reconoce que debe conservarse la cantidad de átomos y en función de ello completa los modelos de bolas y varillas. Al completar la fórmula de óxido de cobre (II): "...Cu ₆ porque usé 6 átomos de cobre..." Cuando se le pregunta si es lo mismo Cu ₆ que 6 Cu, responde: "No, porque acá en el 6 Cu me indica que son 6 moléculas y en el Cu ₆ que son 6 átomos." En el agua justifica: "Acá dice que hay una molécula de hidrógeno compuesta por 2 átomos, una molécula de oxígeno compuesta por 2 átomos, y acá el agua, compuesta por un átomo de oxígeno y 2 de hidrógeno... Necesitaría otra molécula de hidrógeno para hacer otra molécula de agua." En el amoníaco: "Nitrógeno con hidrógeno... entonces tendría que hacer otra molécula de amoníaco, porque acá estoy usando un solo átomo (señala el nitrógeno). (Dibuja la segunda molécula de amoníaco) tengo entonces en total, 6 hidrógeno, o sea que serán... 3 moléculas (dibuja) y una sola de nitrógeno..."	Gui: A: Acá serían 4 átomos de cobre (en los reactivos) porque se forman 4 moléculas de óxido de cobre... (tacha los átomos de cobre que sobran)... entonces pongo 4 Cu (en la ecuación) E: ¿Y si hubieras puesto Cu ₄ ? ¿Hubiera significado lo mismo? A: Sí... ¿o no?... no sé... (duda) E: Mira cuando escribes O ₂ ¿qué significa? A: 2 átomos de oxígeno... no, 2 moléculas de oxígeno...no, una molécula de oxígeno. E: ¿Y 2 O qué significa? A: 2 átomos de oxígeno. E: Claro ahí está la diferencia: O ₂ es una molécula y 2 O son 2 átomos. Ahora, es lo mismo 4 Cu que Cu ₄ ? A: No, porque 4 Cu son 4 átomos y Cu ₄ es una molécula que tiene 4 átomos. E: Bien. Entonces completa la reacción... A: Usé 4 átomos de cobre, entonces pongo 4 Cu; luego usé 2 moléculas de oxígeno, así que O ₂ + O ₂ y se forman 4 de CuO.

Interpretación de una reacción química en la que intervienen macromoléculas



Ítems

Variable

Contenido

Act.3
Act.4

Macrom

A partir de un modelo macromolecular de bolas y varillas, los alumnos deben explicar cómo tiene lugar una reacción química y alcanzar a ajustar la ecuación química convenientemente

1. LA REACCIÓN NO COMIENZA CON LA ROTURA DE LOS ENLACES MACROMOLECULARES, SINO POR LA ADICIÓN DEL OTRO REACTIVO A LA MACROMOLÉCULA. ESTO ES, CONCIBEN LA FÓRMULA EMPÍRICA COMO TODA LA MACROMOLÉCULA Y NO COMO LA MÍNIMA PARTE DE LA MISMA. ADVERTIDOS DE ELLO, NO RECTIFICAN.

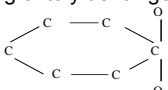
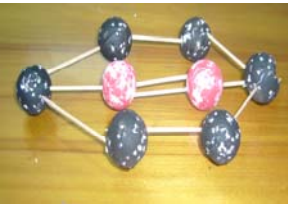

**CO₂ REPRESENTA LA UNIÓN DE O₂ A LA MACROMOLÉCULA
NO DISTINGUEN CU₄ DE 4CU**

Vic Gim	<p>Vic: Cuando tiene que formar el dióxido de carbono a partir del grafito y el oxígeno, sabe que está formado por 1 átomo de carbono y 2 átomos de oxígeno, pero no logra entender cómo se lo puede obtener a partir del grafito. La entrevistadora la ayuda preguntándole ¿qué pasa cuándo se produce una reacción química? ¿Qué pasa con las moléculas de los reactivos? Ella responde: "se rompen y forman enlaces nuevos". La entrevistadora le pide que tenga en cuenta esto y forme el dióxido de carbono. Ella lo forma dudosamente, se ve que no está convencida.</p>	<p>Gim: Al formar dióxido de carbono a partir del grafito y del oxígeno: "¿cómo lo uno a esto?" (Se refiere unir el oxígeno al grafito). Ante la pregunta cuántos C necesita para formar el dióxido de carbono, responde: "uno" y pregunta: "¿pero todo esto es un carbono o no?" (refiriéndose a todo el grafito). Sabe que la fórmula indica que hay un solo C pero a la vez no puede relacionarlo con la macromolécula.</p>
------------	--	--




2. LA REACCIÓN NO COMIENZA CON LA ROTURA DE LOS ENLACES MACROMOLECULARES, SINO POR LA ADICIÓN DEL OTRO REACTIVO A LA MACROMOLÉCULA. ADVERTIDOS DE ELLO, RECTIFICAN Y CORRIGEN.

Agu Oli Her Jer Kar Luc Mav Mas Cat Gal	<p>Agu: "Desarmo la molécula de oxígeno para que se una con el cobre... y se forman 2 moléculas de óxido de cobre". Al escribir la ecuación, escribe "Cu₂" pues dice que son 2 átomos los que reaccionan... Cuando se le pregunta qué significa "Cu₂" dice "2 átomos de cobre" a lo que la entrevistadora responde que significa que la molécula tiene 2 átomos de cobre, entonces le explica que no se trata de una molécula, sino de una macromolécula formada por muchos átomos y le pregunta al alumno si se trata entonces de una molécula, o de 2 átomos, a lo que el alumno responde: "son 2 átomos."</p>	<p>Oli: En la representación del CO₂ a partir del C grafito y del O₂ piensa y pregunta: "¿Uniéndolo a uno solo (se refiere a un solo átomo de C) ¿o no?". (Piensa) "Y para mi tendría que ir unido uno de acá, así..." (o sea un átomo de O unido a un átomo de la macromolécula). Cuando el entrevistador le dice que mire el producto de la reacción (CO₂) y lo compare con lo que está haciendo, (unir la molécula de Oxígeno al grafito) inmediatamente advierte el error y corrige: "Es CO₂ o sea un C unido a 2 oxígeno... ah!!! Entonces tendría que separar (romper) la macromolécula para que pueda producirse el CO₂. "Entonces queda abierto el enlace de la macromolécula y unido los átomos de oxígeno... O... se puede separar la macromolécula... y un C puede ser despedido o no sé la palabra que pueda utilizar pero para que se una con los oxígeno... para mi sería esto. Con respecto a los C que sobraron: "Tienen que unirse con otros C que estén libres para que no se pierda la macromolécula."</p>
--	--	--

	<p>Her: En la representación de la reacción entre el grafito y el oxígeno para formar dióxido de carbono, pregunta: "¿Los 2 de oxígeno están unidos a todos los átomos de carbono? Al armar la molécula pregunta: "¿Los oxígenos, a cuáles estarían unidos, a todos los carbonos?" Se centra en la macromolécula de grafito y no visualiza que la fórmula del CO₂ tiene un solo átomo de carbono. El entrevistador pregunta: ¿qué pasa cuando se produce una reacción química? El alumno responde: "se combinan las sustancias.... las uniones se tienen que desarmar para volver a hacer" Ahí advierte cómo es la molécula y la arma con un carbono y los 2 oxígeno. Del carbono restante, dice: "Se combinaría con más oxígeno".</p>	<p>Jer: En la obtención del dióxido de carbono a partir del grafito y del oxígeno, muestra este modelo:</p>  <p>Sin embargo, al mostrarle la fórmula del dióxido de carbono y preguntarle cómo está formada dicha molécula responde: "Por un C y 2 oxígeno" Seguidamente se le solicita que observe su modelo y se le pregunta cuántos C tiene en el mismo y responde: "Muchos" "Ahí advierte el error y separa uno de los C del grafito y forma el CO₂ Considera que la macromolécula de grafito "Perdió un C" y que "sí, se rompió la molécula" Respecto al C que sobra: "...y... buscará unirse con otro C... para seguir manteniendo la molécula de grafito".</p>
	<p>Luc: Cuando se le pide que realice la reacción química entre el grafito y el oxígeno: "La uniría acá, en el medio, le pondría un palillo ahí, como todos están unidos todos se van a conectar a éste... ese sería para mí el dióxido y adentro está el oxígeno".</p>  <p>Cuando se le pregunta cuántos átomos de C tiene el dióxido de carbono, responde que 1, ahí advierte el error: "Entonces tendría que sacar..." Rectifica, corrige muestra este modelo:</p> 	<p>Mav: Al hacer la reacción entre el grafito y el oxígeno para obtener dióxido de carbono, se refiere a la molécula de oxígeno: "acá no entiendo si lo tengo que poner dentro de la macromolécula o directamente ponerlo con un C". Sabe que el dióxido de carbono está formado por "un C y 2 oxígeno". No sabe si tiene que sacar un C del grafito o si tiene que incorporar el oxígeno al grafito: "¿pero sacándolo de acá o poniéndolo acá al oxígeno?" Cuando se le pregunta qué pasa con los reactivos en una reacción química: "Se unen... pero lo que no entiendo es si es a continuación..." se refiere a unir el oxígeno a la macromolécula, pero ve que el grafito tiene muchos C, entonces dice: "Entonces tengo que sacar uno... ¿se rompe acá? Finalmente logra relacionar el hecho de cómo se produce una reacción química con lo que tiene que obtener y presenta un modelo formado por un átomo de carbono seguido de 2 átomos de oxígeno. Se le pide que compare este modelo con el que realizó en la primera actividad que consiste en un átomo de carbono central y a los lados un átomo de oxígeno. Ante la pregunta si es lo mismo uno y otro modelo, dice: "Sí, es lo mismo, o sea, no están unidos igual, pero es lo mismo..." En cuanto al C que sobra del grafito: "Y se vuelven a unir entre ellos, pero como falta un C van a tener que recibir uno de nuevo para que se vuelva a formar la macromolécula...." "y respecto a si ese C que sobra se podría unir con más oxígeno: "Y si... los C pueden recibir más oxígeno y hacer más dióxido de carbono".</p>


3. TRAS DUDAS Y TANTEOS, CONCIBEN LA FÓRMULA EMPÍRICA MONOATÓMICA COMO LA MÍNIMA PARTE DE UNA MACROMOLÉCULA QUE ENTRA A FORMAR PARTE DE UNA REACCIÓN QUÍMICA.

<p>Fra Gua Jos Jul Mar Mic Ago Mel Gac Cla Rey Gui Cia</p>	<p>Jos: Al hacer la fórmula, en el cobre (reactivo) escribe "Cu₂" porque dice que reaccionaron 2 átomos. La entrevistadora le pregunta de dónde salieron los átomos de cobre y él responde que de la macromolécula, ahí advierte que no se puede escribir "Cu₂" porque eso indicaría "que son 2 átomos juntos" (molécula biatómica), entonces lo corrige y escribe "2 Cu".</p>	<p>Mic: En la reacción entre el oxígeno y el cobre: "Para formar esto (óxido de cobre) tengo que sacar de la macromolécula uno de cobre... y voy a necesitar uno de oxígeno.... pero ¿este oxígeno tampoco puede quedar solo? entonces con otro cobre formo otra molécula..." (trabaja). En la ecuación química "Usé dos átomos de oxígeno, una molécula, así O₂" "De cobre... saqué 2 átomos de la macromolécula, formaría una molécula" y escribe "Cu₂" "El entrevistador, le hace ver que son átomos los que forman la macromolécula del cobre y que él ocupó sólo 2 átomos; ahí advierte el error y lo corrige diciendo: "es 2 Cu porque si no quería decir que la molécula de cobre tiene 2 átomos".</p>
--	--	---

Pab	<p>Fra: Para la formación del óxido cúprico: <i>"De toda la macromolécula del cobre, saco un átomo que se va a unir con un oxígeno de esta molécula..."</i> (Forma la molécula) pero este átomo de oxígeno no puede quedar solo... entonces va a unirse con otro cobre" (forma la segunda molécula). Con respecto a la ecuación química escribe: $\text{O}_2 + \text{Cu}_2 \longrightarrow 2 \text{CuO}$ <i>"como son 2 átomos de cobre, puse el 2 acá"</i> (escribe Cu₂). La entrevistadora le dice que se fije cómo es el modelo del cobre, responde: <i>"y... tiene muchos átomos..."</i> La entrevistadora le dice que con Cu₂ indicaría que la molécula de cobre tiene 2 átomos y no es así... tiene muchos... y de todos esos átomos ¿cuántos ocupaste? El alumno responde: "2" advirtiendo el error y lo corrige.</p>	<p>Ago: Cuando se le pide que realice el modelo del CO₂ a partir del grafito y el O₂: dice que entiende más o menos lo que tiene que hacer y dice que el CO₂ está formado por un átomo de carbono y 2 de oxígeno pero: <i>"es que no entiendo si es la molécula entera o el átomo"</i> refiriéndose a si se trata de todo el grafito o a un átomo; esto muestra confusión entre la fórmula química que es C y la estructura, es decir que se trata de una macromolécula. Sin embargo cuando la entrevistadora le pregunta cuántos C tiene según la fórmula, ella dice: <i>"O sea es un átomo."</i> Y realiza el modelo:</p> 
	<p>Cla: En la ecuación del cobre con el oxígeno escribe: $\text{Cu}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{CuO}$ Cuando se le pregunta qué significa Cu₂ responde: <i>"es una molécula y...no, son 2 átomos, entonces tengo que tachar el 2 y poner 2 Cu"</i>.</p>	<p>Gui: En la ecuación del óxido de cobre (II) si bien escribe 4 Cu en los reactivos, duda cuando se le pregunta si es lo mismo 4 Cu que Cu₄ sin embargo, piensa y reconoce la diferencia. E: ¿Y si hubieras puesto Cu₄? Hubiera significado lo mismo? A: <i>Sí... ¿o no?... no sé...</i> (duda) E: Mira cuando escribes O₂ ¿qué significa? A: <i>2 átomos de oxígeno... no, una molécula de oxígeno.</i> E: ¿Y 2 O qué significa? A: <i>2 átomos de oxígeno.</i> E: Claro ahí está la diferencia: O₂ es una molécula y 2 O son 2 átomos. Ahora, es lo mismo 4 Cu que Cu₄? A: <i>No, porque 4 Cu son 4 átomos y Cu₄ es una molécula que tiene 4 átomos.</i> E: Bien. Entonces completa la reacción... A: <i>Usé 4 átomos de cobre, entonces pongo 4 Cu; luego usé 2 moléculas de oxígeno, así que O₂ + O₂ y se forman 4 de CuO.</i></p>

4. DESDE EL PRINCIPIO, CONCIBEN LA FÓRMULA EMPÍRICA MONOATÓMICA COMO LA MÍNIMA PARTE DE UNA MACROMOLÉCULA QUE ENTRA A FORMAR PARTE DE UNA REACCIÓN QUÍMICA

<p>Gab Mat Ang Bel Fac Rac Pao Ric Flo Nan Var Nie Dan Ina</p>	<p>Mat: Con respecto a la formación de dióxido de carbono a través de grafito y oxígeno: <i>"sí, tengo que desarmar esta molécula (se refiere al oxígeno) y esto también (se refiere al grafito) y formar un solo componente."</i> Se podría decir que visualiza la reacción química como la ruptura de enlaces entre reactivos y la formación de nuevos enlaces que generan los productos. Con el grafito que sobra: <i>"y se unen y forman más grafito... O también la otra es que reaccione con más oxígeno y forme varias moléculas"</i>.</p>	<p>Fac: Con respecto a la formación del dióxido de carbono: Piensa y dice: <i>"Ah!! Se rompen estos enlaces del grafito y se forma el dióxido..."</i> Del carbono que sobra dice: <i>"A ver... (Piensa) la reacción es la combustión y el CO₂ es el humo de la combustión lo que se desprende de la reacción, es la entalpia. El C restante son la cenizas, lo que sobra."</i> En la reacción entre el cobre y el oxígeno, la hace en la guía primero. <i>"Bueno, veo que son 2 átomos de cobre... de toda la macromolécula, van a reaccionar sólo 2 cobre....sí, o sea que necesito 2 átomos de cobre."</i> <i>"2 átomos de cobre y otros más forman una..."</i> (Hace un gesto con la mano y se refiere a la macromolécula).</p>
--	---	--

<p>Ina: En el óxido de cobre: "como es una macromolécula se pueden formar muchas moléculas... porque uno de estos (señala los átomos de la macromolécula) se combina con un oxígeno y entonces como son muchos los cobre, se pueden formar muchos CuO... y entonces acá se podrían formar 6 moléculas de CuO, entonces faltan 2 moléculas más y se necesitarían 6 cobre de la macromolécula".</p>	<p>Nan: En el óxido de cobre (II): "Sí, es una macromolécula y tiene forma de cubo... entonces se va a romper la macromolécula del cobre y sacamos un cobre que va a reaccionar con un oxígeno de la molécula de oxígeno (Trabaja) entonces se forma una molécula de óxido de cobre (la muestra). Pero puedo sacar otro cobre y formar otra molécula con el oxígeno que quedó, entonces se forman en total 2 moléculas de óxido de cobre" (las muestra).</p> 
---	--

Módulo	Causa del enlace químico		
10	Ítems	Variable	Contenido
	Act.5a	Enla_1	¿Por qué crees que los átomos de oxígeno se unen para formar la molécula de oxígeno?
1. NO ALCANZA A REALIZAR ESTA ACTIVIDAD			
			Mar
2. RESPUESTAS ERRÓNEAS o AUSENTES			
			Gua, Gac, Cla
			Bel, Pab
3. RESPUESTAS QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS			
			Cat, Jul
			Fra, Jos, Oli, Ina, Dan
4. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS			
			Gab, Gim, Gui
			Her, Nan
			Mav, Cia
			Rey
5. RESPUESTAS QUE REPRODUCEN LA PREGUNTA			
			Ago, Jer, Luc, Ang, Rac, Mel, Pao, Kar
			Mic
			Agu
6. RESPUESTAS CORRECTAS CIENTÍFICAMENTE			
			Mat, Víc, Fac, Gal, Mas, Flo, Ric, Var, Nie

1. NO ALCANZA A REALIZAR ESTA ACTIVIDAD

Mar

2. RESPUESTAS ERRÓNEAS O AUSENTES*"No sé"*

Agu, Cat, Gab, Gac, Fra, Jos, Mic, Oli, Gim, Gui, Cla, Pab, Ina

"A través de reacciones químicas"

Her, Nan, Jer

"Porque son de la misma sustancia, se atraen"

Cia

3. RESPUESTAS QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS*"En unas son blanditas como el grafito... no, en realidad no son blanditas sino que están todas como muy juntas"*

Gua

"Por obra del hombre, porque el hombre los une... no, unas son naturales y otras las hace el hombre"

Rey

4. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS*"Para formar el objeto, para pasarse a gas"*

Pao

5. RESPUESTAS QUE MENCIONAN LOS ENLACES O LAS FUERZAS QUÍMICAS*"Se unen por las fuerzas de cohesión que son las fuerzas que los aproximan... eso lo vi en física"*

Jul

"Por medio de un enlace químico covalente"

Kar, Mat, Vic, Fac, Rac, Gal, Mas, Flo, Ric, Nie

"Por medio de un enlace químico"

Ago, Luc, Mav, Ang, Var, Dan

6. RESPUESTAS QUE MENCIONAN EL PROTAGONISMO DEL OCTETO ELECTRÓNICO*"Por atracción de electrones, para completar el octeto"*

Bel

"El oxígeno tiene agruparse a otro por su carga"

Mel

Módulo	Indagación en los tipos de enlace químico		
12	Ítems	Variable	Contenido
	Act.5c	Enla_3	¿Es el mismo tipo de unión, el que se produce entre dos átomos de oxígeno que el que se produce entre un átomo de cloro y otro de sodio?
1. NO LLEGAN A REALIZAR ESTA ACTIVIDAD			
			Mar
2. RESPUESTAS QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS O RESPUESTAS AUSENTES			
			Gua
			Mic
3. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS QUE CONCIBEN DISTINTO TIPO DE ENLACE			
			Agu, Dan
			Gac, Var
4. RESPUESTAS MICROSCÓPICAS SIN SIGNIFICADO			
A. QUE SE JUSTIFICAN EN LA IGUALDAD O NO DE LOS ÁTOMOS CONSTITUYENTES			
			Cat, Ina, Cla
			Ago, Her, Pab
			Oli, Cia
			Jer
			Mel
			Fra, Jos, Nan
			Nie
B. QUE SE JUSTIFICAN EN LA FORMACION DE DIFERENTES MOLECULAS			
			Gab, Jul, Rey, Gui
5. RESPUESTAS MICROSCÓPICAS CON ARGUMENTOS BASADOS EN LA TEORIA DE ORBITALES ATOMICOS			
			Ang
			Bel
			Mav, Mat, Vic, Gim, Ric, Fac, Rac, Gal, Flo, Pao Kar
			Luc
			Mas

Módulo	Introducción al modelo atómico electrónico		
13	Ítems	Variable	Contenido
	Act.5d	Modele	Con ayuda de la tabla periódica y teniendo en cuenta la regla $2n^2$ los alumnos deben completar el símbolo, número de electrones, distribución electrónica, notación de Lewis y representación del átomo para todos los elementos de los tres primeros periodos.

1. NO ALCANZA A REALIZAR LA ACTIVIDAD

Mar	
-----	--

2. NECESITA AYUDA DURANTE TODA LA ACTIVIDAD, PUES NO PUEDE LLEGAR AL FINAL SIN ELLA

<p>Cat Jos Jul Gua Jer Mav</p>	<p>Jul: En cuanto a los 6 electrones del carbono, dice: "Los pondría en el primer nivel, pondría 2 cargas positivas, 2 neutras... no, no sé, no entiendo..." Luego dice: "2 en la primera, 2 en la segunda y 2 en la tercera..." La entrevistadora le explica que el máximo de electrones en el segundo nivel es 8 y que si puede poner allí los 4 restantes y dice que no porque les sobrarían otros 4 mas. La entrevistadora le explica nuevamente la regla del $2n^2$.</p> <p>Para la notación de Lewis le preguntamos cuántos electrones tiene en el último nivel y dice que son "18, o 6, 8 (por la cantidad máxima) 4... No, no sé." Al final lo hace la entrevistadora y se lo vuelve a explicar. No quiere seguir con la entrevista porque manifiesta que es muy difícil y que no entiende, sin embargo, hace el ejercicio del oxígeno y del flúor.</p> <p>En el oxígeno dice: "como son 8 los negativos, (electrones) los pongo en el segundo (nivel)". La entrevistadora le explica nuevamente la regla del $2n^2$ En la notación de Lewis, dice que "son 8 los electrones del último nivel ¿o no?"</p> <p>En el flúor: "Pongo los negativos en el tercer nivel, se me pasa de 8". La entrevistadora le pregunta: ¿cuántos electrones pueden ir en el primer nivel? 2 (Responde Jul) y ¿cuántos quedan? ¿7? (Responde dudosamente Jul) y ¿pueden ir en el segundo? "Sí, pero que hago con esos 2?" Y esos 2 quedan en el primer nivel y los restantes van al segundo siempre que no sean más de 8. "Ah!!! Ahora sí..." (Responde Jul).</p>	<p>Jos: Como el alumno no ha estudiado sobre los átomos, el entrevistador le explica con el átomo de Litio cómo está formado y cómo se distribuyen los electrones (regla del $2n^2$). También le explica la notación de Lewis y cuántos neutrones tiene cada elemento a fin de no brindar tanta información junta que "aturda" al alumno.</p> <p>Completa el cuadro, Jos mira en la tabla periódica el símbolo y la cantidad de electrones.</p> <p>Cuando comienza a completar el cuadro, se queja de que es muy complejo, que no se entiende, que es "mucho de golpe" (es decir mucha información).</p> <p>Para el He, tiende a poner 8 electrones en la segunda órbita. Cuando va a hacer el modelo de Lewis, dice que en el núcleo "tiene 2 electrones positivos y en la órbita tiene 2 negativos".</p> <p>En el C, dice que los 6 electrones están distribuidos 2 en la primera órbita y los 4 restantes también. El entrevistador, lo hace razonar y le recuerda la regla del $2n^2$ pero aún así, no lo comprende y responde: "2 electrones en la primera órbita y los 4 restantes: 2 electrones en la segunda órbita y los otros 2, en la tercera órbita". Nuevamente, manifiesta que es complejo y difícil el tema y pregunta "¿porqué no se pueden dividir los electrones y poner 2 y 2?" Nuevamente el entrevistador le explica la regla del $2n^2$.</p>
--	--	---

3. EMPIEZA CON AYUDA Y CONTINUA SIN ELLA, SALVO DE MODO PUNTUAL QUE LE HACE REACCIONAR Y CORREGIR

<p>Fra Luc Ago Kar Agu Gac Dan</p>	<p>Ago: E: Para el oxígeno ¿Cuál es el símbolo? A: O E: Bien, ¿el número de electrones? A: 2,.. E: No, números de electrones en total... A: 8 E: Bien, ¿cómo se distribuyen los electrones? A: Sí, hay 2 en el 1°, y después hay 6 E: Bien. La notación de Lewis ¿te acuerdas cuál era? A: No E: (Explica la entrevistadora) ¿Cuántos electrones tiene en el último nivel? A: 6. E: 2 y 6 y están distribuidos, 2 en el 1° Nivel, 6 en el 2°. A: (piensa) E: Tienes que representar el átomo. ¿Te acuerdas? A: Sí, los protones y los neutrones...</p>	<p>Dan: Completa el cuadro sin dificultades. En la representación de Lewis para algunos elementos, dibuja todos los electrones, se le advierte y corrige</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Litio</td> <td>Li</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>-</td> <td>Li</td> <td>\oplus 2e 1e</td> </tr> <tr> <td>Berilio</td> <td>Be</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>-</td> <td>Be</td> <td>\oplus 2e 2e</td> </tr> <tr> <td>Boro</td> <td>B</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>-</td> <td>B</td> <td>\oplus 2e 3e</td> </tr> </table>	Litio	Li	3	2	1	-	Li	\oplus 2e 1e	Berilio	Be	4	2	2	-	Be	\oplus 2e 2e	Boro	B	5	2	3	-	B	\oplus 2e 3e
Litio	Li	3	2	1	-	Li	\oplus 2e 1e																			
Berilio	Be	4	2	2	-	Be	\oplus 2e 2e																			
Boro	B	5	2	3	-	B	\oplus 2e 3e																			

	0	8	2	6	:O:	$\begin{matrix} 2p^1 \\ 8p \\ 2e^- \\ 6e^- \end{matrix}$
--	---	---	---	---	-----	--

4. EMPIEZA CON AYUDA PERO RÁPIDAMENTE SE HACE CON LA TAREA Y CONTINUA SOLO

Mat	Oli: Completa la tabla sin dificultades. La notación de Lewis y cómo calcular el número de neutrones no lo recordaba y la entrevistadora se lo explicó. Por ejemplo para el oxígeno:	Gui: E: Bien, acá en la próxima actividad, tienes que completar este cuadro.... A: ¿Me explicas uno entero y yo sigo? E: Si, fíjate: acá por ejemplo en el hidrogeno, tienes que escribir el símbolo que es H, luego, la cantidad de electrones, fíjate en la tabla periódica... A: Tiene 1, me fijé en el Z, está bien? E: Si. Ahora la distribución de electrones, te acuerdas de la regla del $2n^2$? A: Si, van 2 en la primer orbita, luego 8 en la segunda y 18 en la tercera A: (Trabaja en silencio) El alumno ya estudió el átomo, sabe la distribución electrónica y la representación del átomo. Sólo se le explicó la notación de Lewis. Trabajó sin dificultades.
Oli		
Gab		
Mic		
Mas	E: Notación de Lewis, ¿te acuerdas?	
Cla	A: (Piensa) No, no...	
Gui	E: Se escribe el símbolo del elemento y alrededor se escriben los electrones del último nivel.	
Cia	A: Ah, ahora sí!!!	
Pab	E: entonces para este ¿caso cómo sería?	
Nie	A: Y el O con 6 puntitos. E: ¿Y la representación del átomo? A: En el núcleo hay protones y neutrones. E: ¿Cuántos neutrones tiene el O? A: 15... ¿O no? E: No, tiene la misma cantidad de protones que electrones. A: Entonces 8 protones y 8 electrones.	

5. DESDE EL PRINCIPIO MUESTRA GRAN DESTREZA EN LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD

Vic	Gim:
Her	E: Entonces el oxígeno, símbolo
Gim	A: O, ¿Número de electrones? Son 8
Bel	E: ¿Distribución electrónica?
Fac	A: 2 en el primer nivel y 6 en el segundo
Ang	E: Bien.
Rac	A: Ahora la notación de Lewis... Es O con 6 puntitos, dos de cada lado hasta completar los 6
Gal	E: Bien ¿por qué me dices los 2 puntitos de cada lado?
Mel	A: Y porque no puedo poner 3 o 6 del mismo lado, si no que tengo que poner de a 2
Flo	E: Y la representación del átomo?
Pao	A: Sería, el núcleo y 2 niveles: en el primero 2, en el segundo 6... En el núcleo habría 8 protones y 8 neutrones
Ric	
Ina	
Rey	
Nan	
Var	

Módulo	Formación de iones		
14	Ítems	Variable	Contenido
	Act.6	iones1	A partir de la enseñanza del modelo atómico electrónico, los alumnos deben completar afirmaciones referidas al concepto de ion

1. NO LLEGAN A REALIZAR ESTA ACTIVIDAD

Gua Jul Mar	
-------------------	--

2. NECESITA AYUDA DURANTE TODA LA ACTIVIDAD, PUES NO PUEDE LLEGAR AL FINAL SIN ELLA

Mic Kar Mav Mat Mel Gui Pab	<p>Mic: Hace una mirada a la cantidad total de electrones y no a los del último nivel: "El oxígeno si gana 2 electrones, va a tener 10". Tiene dificultades para escribir los aniones. Lo hace con la ayuda de la entrevistadora.</p>	<p>Kar: Tiene dificultades en la representación de los aniones y cationes. La entrevistadora le ayuda. A: Si 1 átomo de oxígeno gana dos electrones su configuración electrónica es la del...Neón. E: Sí, pero ¿te acuerdas que pasa cuando un átomo pierde o gana electrones? Cuando un átomo gana electrones queda como un.... anión y cuando pierde en un.... catión. Entonces en este caso, el oxígeno está ganando electrones, y se transforma en un... A: Un anión. E: Anión, y ¿te acuerdas cómo se representa? A: No E: ¿El oxígeno cuántos electrones gana? A: 2 E: 2 entonces queda con carga 2 negativa, que se escribe así O²⁻. A: (atiende) ¿lo represento? E: Sí, oxígeno con las 2 cargas negativas, sí, porque gana 2 electrones. Si 1 átomo de cloro gana 1 electrón, su configuración electrónica es la del.... A: Argón (mira la tabla periódica) E: Y se transforma en un..... A: En un Anión. E: En un anión. ¿Con cuántas cargas negativas? A: (Piensa) E: ¿Cuántos electrones ganó el cloro? A: 1 E: Bien, 1 carga porque ganó 1 electrón</p>
	<p>Gui: E: Fíjate en este cuadro (señalo el cuadro actividad 5) acá tienes al oxígeno, si gana 2 electrones su distribución electrónica se va a parecer al átomo de... A: Al neón. E: Bien. ¿Y va a seguir estando neutro al ganar 2 electrones? A: (Piensa) No sé... E: Fíjate... acá el átomo está neutro: tiene 8 protones y 8 electrones, al ganar 2 electrones... ¿cuántos va a tener en total? A: 10 electrones. E: Bien. Y los protones siguen siendo 8, entonces son 8 protones y 10 electrones. ¿Está neutro? A: Y no... no sé... E: Fíjate hago la representación del ion oxígeno y la comparo con el átomo que él hizo y le pregunto, si gana 2 electrones, ¿está neutro? A: No... es muy difícil!!! E: ¿Porqué? ¿Qué cargas le va a estar sobrando? A: y los 2 electrones... E: Muy bien. Y a ese átomo se representa como O²⁻ siendo los 2- las 2 cargas negativas que ganó. A: Sí. A: Si el átomo de potasio pierde un electrón, se va a parecer al... argón (mira el cuadro) y acá resta un electrón, entonces... escribo K⁺ ¿o no? porque perdió un electrón...</p>	<p>Pab: Explico qué sucede con las cargas cuando un átomo gana o pierde electrones como así también cómo se escriben los iones. Sin embargo, le es muy dificultosa la actividad y la realiza con ayuda de la entrevistadora.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si 1 átomo de oxígeno gana 2 electrones, su configuración electrónica es la del <u>Neón</u> y se transforma en un <u>anión</u> O^{2-} • Si 1 átomo de cloro gana 1 electrón, su configuración electrónica es la del <u>Argón</u> y se transforma en un <u>anión</u> Cl^- • Si 1 átomo de potasio pierde 1 electrón, su configuración electrónica es la del <u>Argón</u> y se transforma en un <u>catión</u> K^+ • Si un átomo de magnesio pierde 2 electrones, su configuración electrónica es la del <u>Neón</u> y se transforma en un <u>catión</u> Mg^{++}

3. EMPIEZA CON AYUDA Y CONTINUA SIN ELLA, SALVO DE MODO PUNTUAL QUE LE HACE REACCIONAR Y CORREGIR

<p>Agu Cat Gab Luc Var Dan</p>	<p>Cat: A: <i>¿Acá en el cloro se pone la carga que gana o la que le falta?</i> E: Es la carga que le queda luego de ganar el electrón. A: (piensa) <i>entonces es negativa, porque gana 1 electrón.</i> A: <i>En el potasio, si pierde un electrón ¿sería K con una carga negativa, porque es lo que le falta?</i> E: Fíjate, si pierde un electrón ¿cómo quedan sus cargas? Mira (hago el dibujo del átomo de potasio) el K cómo están sus cargas ahora que está neutro y luego si pierde un electrón. </p>	<p>Dan: Realiza la actividad con un poco de ayuda de la entrevistadora quien le hace relacionar las cargas eléctricas del átomo cuando éste se encuentra neutro y pierde electrones. Tiene dificultades en los cationes.</p>
--	---	--

4. EMPIEZA CON AYUDA PERO RÁPIDAMENTE SE HACE CON LA TAREA Y CONTINUA SOLO

<p>Fra Gac Jos Jer Bel Ago Mas Ina Cla Rey</p>	<p>Fra: El entrevistador le explica el concepto de ion con el O y el Li de ejemplo. Fra realiza la actividad correspondiente mirando la tabla periódica para saber a qué gas noble se parecerá el elemento. E: Si un átomo de oxígeno gana 2 electrones, es decir que en vez de tener 6 electrones en la última órbita, pasará a tener... F: <i>tendrá 8</i> E: bien, y ¿a qué elemento se va a parecer? F: <i>y al Neón.</i> E: (Dibujo el átomo de oxígeno). Mira, el átomo tiene la misma cantidad de cargas negativas y positivas, en este caso tiene 8 y 8, pero qué pasa si gana 2 electrones? F: <i>y va a tener 10</i> E: bien, entonces va a tener 2 electrones extra y ya no estará neutro ¿con qué carga quedará? F: <i>quedará negativa porque tiene más electrones.</i> E: bien, entonces en ese caso decimos que cuando un átomo gana electrones se transforma en anión y cuando gana electrones se transforma en catión. Entonces se escribe el símbolo, O y un 2 con signo menos, que significan los 2 electrones que ganó. F: <i>si</i> E: vamos con el cloro, fíjate en la tabla... F: <i>tiene 2, 8 y 7 electrones... si gana un electrón, se transforma en... en un anión y se parece al argón y queda con uno negativo.</i> E: ahora te explico qué pasa cuando un átomo gana electrones (le explico para el Li) E: entonces acá tienes al potasio, y si pierde 1 electrón... F: <i>y se parece al Argón porque va a tener uno menos (mira la tabla periódica).... y va a quedar con uno positivo.</i> F: <i>en el Mg.... se parece al Ne y si pierde queda con 2 positivas</i> E: bien, (le pregunto a cerca del Br y del Al y lo responde bien)</p>	<p>Cla: Tiene algunas dificultades en los cationes: <i>"Si un átomo de potasio pierde un electrón, su configuración electrónica es la del... (mira la tabla) se va a parecer al argón... y se va a transformar en un... no sé, porque perdió un electrón, entonces ya no está neutro... La entrevistadora le hace ver en el modelo del átomo de potasio cómo quedan las cargas cuando pierde un electrón y lo comprende.</i></p>
--	---	--

5. DESDE EL PRINCIPIO MUESTRA GRAN DESTREZA EN LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD

<p>Oli Her Gim Ang Fac Rac Gal Flo Pao Ric Vic Cia Nan Nie</p>	<p>Her: E: Acá tienes que completar: Si 1 átomo de oxígeno gana 2 electrones... A: <i>Completaría otro nivel</i> E: Bien. Si 1 átomo de oxígeno gana 2 electrones, su configuración electrónica es la del... ¿a quien se parece? A: <i>Al neón</i> E: Bien. A: <i>Y se transforma en un anión</i> E: Si 1 átomo de cloro gana 1 electrón A: <i>Se parece al Argón. Y se transforma en un anión también.</i> E: Bien. ¿Y cómo lo representas? A: <i>-1</i> E: Bien. Y el oxígeno que está ahí arriba ¿cómo quedaría? A: <i>-2. Si 1 átomo de potasio, pierde 1 electrón se parece a 1 Argón</i> E: Bien ¿y cómo se representa? A: <i>Catión, quedaría potasio K +1</i> E: Bien.</p>	<p>Cia: Mira el cuadro anterior para saber a qué elemento se parecerá el átomo al ganar o perder electrones. Comprende rápidamente que el átomo deja de ser neutro al ganar o perder electrones. E: Bien y en ese caso, cuando el átomo de oxígeno gane 2 electrones ¿va a seguir estando neutro? A: <i>No, porque tiene 2 electrones de más... los 2 electrones que acaba de ganar...</i> Se le explica cómo se escriben los iones y comprende rápidamente. E: Si un átomo de potasio, pierde un electrón... A: <i>Se va a parecer al argón.</i> E: Y si perdió un electrón... ¿cómo quedan sus cargas? ¿Qué le está sobrando? A: <i>Protones... le sobra un protón.</i> E: Bien y queda con carga positiva, con una carga positiva. A: <i>¿Se escribe K⁺¹?</i> E: Si un átomo de magnesio pierde 2 electrones, se va a parecer al... (mira el cuadro anterior) al neón... Se escribe Mg²⁺ porque son las 2 cargas positivas que le sobran.</p>
--	--	---

Módulo	Causa del enlace químico luego de haber aprendido el modelo atómico electrónico		
15	Ítems	Variable	Contenido
	Act.7	Causa	¿Por qué crees que los átomos se unen?
1. NO LLEGAN A REALIZAR ESTA ACTIVIDAD			
			Gua, Jul, Mar
2. RESPUESTAS ERRÓNEAS o AUSENTES			
			"No sé" Cat, Mic
3. RESPUESTAS QUE INCLUYEN ELEMENTOS ANTROPOLÓGICOS			
			"Para no estar solos" Jos
4. RESPUESTAS MACROSCÓPICAS			
			"Para formar sustancias" Gac, Cia, Gui, Ina, Cla, Pab
5. RESPUESTAS CORRECTAS ASOCIADAS A UNA REGLA NEMOTÉCNICA			
			1 "Porque quieren tener 8 electrones"/ "para llegar a 8 electrones en la última orbita" Fra, Oli, Luc, Ago, Gim, Mat, Vic, Rac, Gal, Gab, Kar, Ang, Pao, Rey, Nan, Var, Nie, Dan
6. RESPUESTAS CORRECTAS ASOCIADAS A UNA ESTABILIDAD ENERGÉTICA			
			1 "Para parecerse a los gases nobles porque estos son estables". Agu, Her, Jer, Mav, Mas, Mel, Flo, Ric, Bel, Fac

Los alumnos deben completar un cuadro para diferentes sustancias, indicando y realizando el tipo de enlace que existe entre los átomos y luego construir el modelo de bolas y varillas correspondiente.

1. NO ALCANZA A REALIZAR LA ACTIVIDAD O LLEGAN MUY AGOBIADOS

Gua
Mar
Jul
Jos
Gui
Dan

Jos: "es difícil, no se...".
(Para referirse a las cargas de los iones, dice): "si es metal es más, si es no metal, es menos".
(Para referirse al oxido de sodio): "el sodio quiere parecerse al Neón, entonces le va a dar uno (un electrón) al oxígeno y va a ser iónica".

Fluoruro de hidrógeno	HF	COVALENTE	H.F.....	H-O.....F H-F
Óxido de sodio	Na ₂ O	UNION IONICA	Na ⁺ O ²⁻	
Oxígeno	O ₂	COVALENTE	O-O	

Gui:
En el óxido de sodio, la notación de Lewis para un átomo de sodio: "Es Na con un puntito..." para el segundo átomo de sodio, hace un puntito al lado del otro puntito del átomo de sodio, es decir que para él un puntito representa un átomo como lo afirma cuando se le pregunta si representa el átomo con ese puntito:
E: ¿Y representas el átomo con ese puntito?
A: Sí.
E: ¿Cómo se representa el átomo de sodio?
A: No sé...
E: Fíjate, acá escribiste un sodio con un electrón y te falta otro igual, mira... (lo hago yo) ¿Entiendes?
A: Sí...

Fluoruro de hidrógeno	HF	covalente	H-O-F:	H-F
Óxido de sodio	Na ₂ O	iónica	Na ⁺ O ²⁻	O ²⁻ Na ⁺ Na ⁺
Cloro	Cl ₂	covalente	Cl-Cl	

2. NECESITA AYUDA DURANTE TODA LA ACTIVIDAD, PUES NO PUEDE LLEGAR AL FINAL SIN ELLA

Agu
Cat
Fra
Gac
Kar
Luc
Mav
Vic
Bel
Mic
Cia
Var
Pab

Agu. (En el óxido de sodio): "El sodio se une con el oxígeno y este otro sodio también". (La entrevistadora le pregunta cómo se unen y él dice): "por el electrón que pierde uno y gana el otro... pero no sé cómo..." El modelo de bolas y varillas que presenta se corresponde con los 2 cationes sodio unidos a un anión oxígeno, tal como lo representa en forma escrita.


Óxido de sodio	Na ₂ O	u. iónica		
----------------	-------------------	-----------	--	--

(En el dióxido de carbono): "El carbono comparte 4 electrones con el oxígeno". (La entrevistadora le dice que compare con la fórmula molecular, él advierte que son 2 átomos de oxígeno pero no sabe cómo indicarlo. De manera similar responde en el caso del agua). El modelo de bolas y varillas consiste en un átomo de carbono central unido a ambos lados a un átomo de oxígeno. Para el agua, representa un oxígeno unido a un hidrógeno a cada lado.

Dióxido de carbono	CO ₂	u. covalente		
Agua	H ₂ O	covalente		

Fra. (En la molécula de agua): "Son 2 átomos de H y uno de O que comparten 2 pares de electrones". (En el dióxido de carbono): "Acá hay un C y 2 O, el C necesita 4 electrones y el O, 2". (Cuando pasa de la representación de Lewis al diagrama de rayas): "es que éste me ha confundido... porque el O necesita 2 y el C, 4, entonces... (Piensa) le daría un par al O y 2 pares al C. No sé, estoy desorientado..."

Agua	H ₂ O	covalente		
------	------------------	-----------	--	--

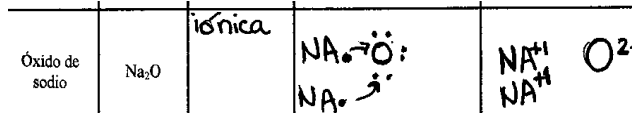


(Para el amoníaco): "Al H le hacen falta 1 electrón y al N... 3 que los va a compartir de los 3 H". (Al hacer el diagrama de rayas, sostiene): "Y esto se representa así: un átomo de N que está unido a 3 H. Las 3 rayitas indican los 3 enlaces con los H." El modelo de bolas y varillas es un modelo correcto desde el punto de vista científico.

Amoníaco	NH ₃	covalente		
----------	-----------------	-----------	--	--

(Para la unión metálica del magnesio sostiene): "el magnesio... es unión metálica... ¿pierde los 2 últimos electrones?" (Cuando se le solicita que explique manifiesta): "Y son 2 átomos que pierden 2 electrones cada uno y están ahí todos juntos". (Para el sodio, expresa): "Bueno cada átomo pierde un electrón... supongamos que tiene 3 átomos, entonces son 3 los electrones que los unen...". El modelo de bolas y varillas del magnesio, consiste en 5 átomos unidos entre si en forma lineal.

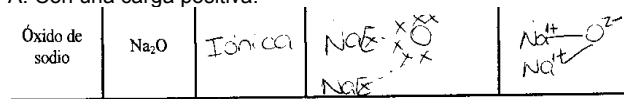
Gac: (En la representación del enlace iónico entre Na y O, indica 2 posibilidades para escribir los iones): "Acá sería Na con 2 positivos o...uno solo más otro... a ver... vendría a ser éste (se refiere al electrón de uno de los átomos de Na) y éste (se refiere al electrón del otro átomo de Na) que se pasan al oxígeno... pero no sé como hacer la representación...." (El entrevistador la ayuda a resolver la cuestión preguntándole cómo queda el sodio si pierde este electrón y ella responde): "Con una carga positiva" (¿y este otro átomo de sodio?) "También, igual" (¿Y el oxígeno?) (piensa) "Y queda con más cargas negativas... con 2 negativas... que son las que le faltan para tener 8".



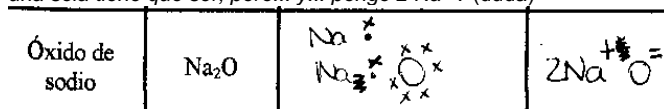
(Para referirse al enlace metálico): "Los electrones quedan como volando entre los átomos del metal" (Representa el núcleo del átomo de magnesio y 2 electrones que se desprenden). El modelo de bolas y varillas para el magnesio consiste en 4 átomos unidos entre sí formando un cuadrado.

(En la unión entre el cloro y el sodio, dice): "El sodio pierde un electrón y el cloro lo gana..." (En la representación de Lewis enlaza el electrón del Na con uno del cloro como si compartieran un par de electrones y manifiesta): "Quiero indicar que se unen porque el Na le da un electrón al cloro... pero no me acuerdo de la notación de Lewis..." (La entrevistadora, le ayuda y dice que el sodio le da un electrón al cloro y que eso lo indique mediante una flecha).

Luc: (En la representación del enlace iónico entre Na y O):
 A: Sodio...es un metal, y el oxígeno es un no metal, la unión es iónica. Quedaría NaO, quedaría Na con 1 y oxígeno con 6...
 E: Fíjate
 A: **Es así y aparece otro sodio.**
 E: Sí, porque ahí la fórmula me dice que son 2. Pero ahí el sodio ¿con qué carga queda?
 A: perdió 2 electrones, entonces queda con 2 carga positiva.
 E: Fíjate, cada átomo de sodio perdió ¿Cuántos electrones?
 A: Uno.
 E: Uno, entonces este sodio queda con...
 A: Con una carga positiva.



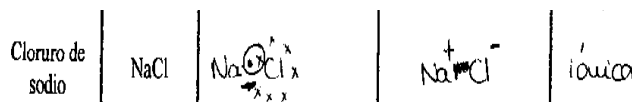
Bel (En la unión del Na con el O, manifiesta que "el Na pierde 2 electrones" y escribe el catión como: "Na²⁺". Al hacerle ver que son 2 átomos de Na y que cada uno perdió un electrón, advierte el error y corrige: "con una sola tiene que ser, pero... y... pongo 2 Na⁺ ? (duda)



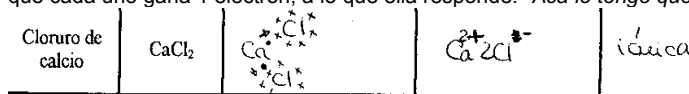
En la notación de Lewis para el cloro escribe el Cl con 1 electrón, al preguntársele si tiene más electrones, responde que sí, que sólo ha indicado los que interviene en el enlace. Lo corrige.

En el magnesio, se le dice que es una macromolécula con enlace metálico y ella pregunta: "¿Con otra molécula de magnesio?"

En la unión entre el Na y el Cl, afirma que es iónica, sin embargo la representa como que están compartiendo electrones, advierte el error y pregunta cómo indicar el enlace. Dice que "el sodio quedaría con una carga positiva y el cloro, negativa". También hace un guión que une los átomos, pero advierte el error: "No, no va ese guión, no hay enlace porque le quita el electrón".



Entre el Ca y el Cl que es un enlace iónico, vuelve a tener inconvenientes con las cargas de los iones: "El calcio le cede 2 electrones... ¿Pero acá le pongo el 2, así Cl²⁻?" Se le hace notar que son 2 átomos de Cl y que cada uno gana 1 electrón, a lo que ella responde: "Acá le tengo que poner el 2 (escribe 2 Cl⁻)".



Con respecto a la unión Na y O: "ahí quedarían separados, o sea con una atracción mínima", "estarían juntitos, nada más... por atracción....Positivo con negativo, nada más".

Var: En el agua: "el hidrógeno y el oxígeno son no metales, y el oxígeno tiene 6 electrones, entonces para parecerse al neón, necesita 2 hidrógeno, porque cada uno tiene un electrón y si los comparte va a tener los 8 que necesita en el último nivel." No sabe cómo representar el enlace: "son 2 hidrógeno unidos con el oxígeno..." Escribe 2 H-O y se le pregunta si esa es la fórmula del agua: "No, es H₂O y estos son átomos que están unidos". Luego se le pregunta si es lo mismo H₂O que 2H-O y dice que sí. Evidentemente hay una contradicción en su respuesta y tiene dificultades para relacionar la fórmula molecular con la representación del enlace. En el dióxido de carbono hace lo mismo: dice que es lo mismo la fórmula molecular que la representación de Lewis (lo cual es correcto) y que además es lo mismo que la representación del enlace que hace: C=2 O (lo cual es incorrecto). De la misma manera expresa en el amoníaco donde dice que es lo mismo NH₃ que N-3H. El modelo de bolas y varillas que realiza para el agua es correcto desde el punto de vista científico. En el caso del dióxido de carbono, representa un carbono unido a ambos lados a 2 oxígeno y con un ángulo de enlace similar al de la molécula de agua.




H ₂ O	Covalente		2H-O O-2H
CO ₂	Covalente		C=2O
NH ₃	Covalente		N-3H


En la foto se observa que realiza los modelos de bolas y varillas según la fórmula molecular.

Pab: En el fluoruro de hidrógeno es ayudado por la entrevistadora. En el cloro no sabe cómo indicar los electrones que comparten. La entrevistadora le ayuda. En el oxígeno, hace 3 átomos porque dice que como le faltan 2 electrones para llegar al Neón, entonces los 2 electrones que le faltan son aportados (cada uno) por 2 átomos. Pasa lo mismo en el nitrógeno, que como le faltan 3 electrones, considera que esos 3 electrones son aportados (cada uno) por un átomo de nitrógeno. En el agua, considera que el enlace es iónico porque el hidrógeno es metal y el oxígeno es no metal. De esta manera el hidrógeno le cede su electrón a oxígeno para que éste complete sus electrones. Luego, la entrevistadora le dice que el hidrógeno es un no metal. Ahí el alumno advierte que sería un enlace covalente y lo corrige abajo. El alumno no sabe cómo explicar la compartición de los electrones, ni tampoco puede explicar por qué la representación de Lewis es la misma que la del enlace. El modelo de bolas y varillas del cloro y el oxígeno es correcto científicamente hablando. La molécula de agua la representa en forma lineal.



Cl ₂	Covalente		 Cl-Cl
H ₂ O	iónico		H ⁺ H ⁺ O ⁻ -X
O ₂	Covalente		 O=O

3. EMPIEZA CON AYUDA Y CONTINUA SIN ELLA, SALVO DE MODO PUNTUAL QUE LE HACE REACCIONAR Y CORREGIR

<p>Gab Oli Her Jer Mas Mel Pao Ina Cla Rey</p>	<p>Oli: A: <i>El cloruro de sodio... iónica (trabaja) Se forma un catión de Na y un anión de cloro.</i> E: Bien y ¿cómo van a estar unidos? A: <i>con un enlace</i> E: recuerda que cuando comparten electrones ¿cómo están unidos? A: (Piensa) E: Fíjate que uno tiene una carga negativa y otro una carga positiva ¿entonces cómo están unidos? A: <i>y... se atraen porque son de distinta polaridad</i> E: son cargas opuestas y se atraen por fuerzas de atracción electrostática.</p> <table border="1" data-bbox="335 436 1021 526"> <tr> <td>Cloruro de sodio</td> <td>NaCl</td> <td>iónica</td> <td>$Na \cdot \overset{\ominus}{\underset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}}$</td> <td>$Na^+ Cl^-$</td> </tr> </table> <p>El modelo de bolas y varillas para la molécula de oxígeno, muestra 2 átomos de oxígeno unidos por 2 palillos.</p> <table border="1" data-bbox="335 571 1021 672"> <tr> <td>Oxígeno</td> <td>O₂</td> <td>covalente</td> <td>$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}} \text{---} \overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$</td> <td>O=O</td> </tr> </table> <p>A: <i>Oxígeno...</i> E: fíjate qué unión hay entre los 2 oxígeno A: <i>es doble... ah!! Entonces tienen que ir dos palillos.</i> E: claro, porque cada palillo representa un enlace, un par de electrones compartidos.</p> <p>(Her con respecto al enlace entre el sodio y el oxígeno)</p> <p>A: <i>El sodio tiene un electrón... y éste tiene que tener 6</i> E: Sí ¿por qué dijiste éste tiene que tener 6? A: <i>Porque con los electrones del sodio, el no metal se completa</i> E: Bien, el sodio entonces ¿qué hace? A: <i>Le da, le cede</i> E: ¿Y cómo queda entonces el sodio? ¿En qué se transforma? A: <i>En catión y quedaría ¿así? (muestra el catión sodio)</i> E: A ver, ¿qué estás representando acá con esas 2 rayitas?</p> <table border="1" data-bbox="335 1041 406 1108"> <tr> <td>Na^+</td> <td>O^{2-}</td> </tr> </table> <p>A: <i>Ah!!! No!!! Que comparten 1 par, que comparten....</i> E: Claro la rayita significa que comparte, pero en realidad ¿es así? A: <i>No, el sodio le cede</i> E: Le cede, entonces el sodio cede, y ¿en qué se transforma si pierde 1 electrón? A: <i>En catión.</i> E: Bien ¿y el oxígeno? A: <i>En anión.</i> E: ¿Cómo se unen esos iones? (Her piensa) E: Se atraen porque son cargas distintas de distinto signo, son cargas opuestas A: <i>Por eso se atraen.</i></p> <table border="1" data-bbox="335 1444 957 1534"> <tr> <td>Óxido de sodio</td> <td>Na₂O</td> <td>iónica</td> <td>$Na \cdot \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}} \cdot$</td> <td>$Na^+ O^{2-}$</td> </tr> </table> 	Cloruro de sodio	NaCl	iónica	$Na \cdot \overset{\ominus}{\underset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}}$	$Na^+ Cl^-$	Oxígeno	O ₂	covalente	$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}} \text{---} \overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$	O=O	Na^+	O^{2-}	Óxido de sodio	Na ₂ O	iónica	$Na \cdot \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}} \cdot$	$Na^+ O^{2-}$
Cloruro de sodio	NaCl	iónica	$Na \cdot \overset{\ominus}{\underset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}}$	$Na^+ Cl^-$														
Oxígeno	O ₂	covalente	$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}} \text{---} \overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$	O=O														
Na^+	O^{2-}																	
Óxido de sodio	Na ₂ O	iónica	$Na \cdot \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}} \cdot$	$Na^+ O^{2-}$														
	<p>Mel: En el enlace Na y O, escribe el catión sodio como Na²⁺ según ella 2+ indica que los 2 átomos de Na perdieron 1 electrón. La entrevistadora, le corrige y ella se da cuenta inmediatamente del error. En el enlace Ca y Cl, escribe los aniones cloro como: Cl²⁻ y según ella 2- indica que los átomos de cloro ganaron 2 electrones. La entrevistadora le corrige y advierte el error.</p>																	
	<p>Ina: En el óxido de sodio: A: <i>... Na tiene 11 y quiere parecerse al Neón y se une al oxígeno que tiene 8. Y como uno es metal y el otro no metal, es iónica.</i> E: Bien A: <i>Y sería...</i> (mira el cuadro anterior con las notaciones de Lewis) <i>Na con un electrón... el O tiene... 6 en el último nivel.</i> E: ¿Y cuántos átomos de sodio dice la fórmula? A: <i>Son... 2 de sodio y uno de oxígeno...</i> E: ¿Entonces? A: <i>Ah!!! Me falta uno de sodio (lo escribe)....</i> </p>																	

	<p>Rey: E: Primero tienes fluor e hidrógeno ¿qué tipo de enlace se producirá? A: <i>Unión covalente porque son 2 no metales... notación de Lewis... ¿cómo era?</i> E: Es el símbolo del elemento y los electrones del último nivel. A: <i>Ah, entonces el fluor, es F con los 7</i> (mira el cuadro que hizo anteriormente). El hidrógeno que tiene 1. E: Muy bien... ¿y qué va a pasar con esos electrones? A: <i>Lo van a compartir... ¿pero cómo lo hago? Porque al H le falta 1 y al F también...</i> (piensa) E: Fíjate, a ambos les falta 1 electrón, entonces comparten 1 cada uno (le muestro la compartición de electrones).</p>			
HF	<table border="1"> <tr> <td>unión covalente</td> <td> $\begin{array}{c} \text{F} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{H} \cdot \end{array}$ </td> <td> $\begin{array}{c} \text{F} \cdot\cdot + \cdot\text{H} \\ \text{F}-\text{H} \quad \text{F} \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$ </td> </tr> </table>	unión covalente	$\begin{array}{c} \text{F} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{H} \cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} \cdot\cdot + \cdot\text{H} \\ \text{F}-\text{H} \quad \text{F} \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$
unión covalente	$\begin{array}{c} \text{F} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{H} \cdot \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} \cdot\cdot + \cdot\text{H} \\ \text{F}-\text{H} \quad \text{F} \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$		
	<p>Cla: En la molécula de cloro hace un guión entre los 2 átomos en la representación de Lewis, sin mostrar cuáles son los electrones que se comparten. Cuando se le dice que observe la molécula de HF, ahí advierte cómo hacerlo y lo corrige.</p>			
Cl ₂	<table border="1"> <tr> <td>covalente</td> <td> $\begin{array}{c} \text{Cl} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{Cl} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$ </td> <td> $\text{Cl}-\text{Cl}$ </td> </tr> </table> 	covalente	$\begin{array}{c} \text{Cl} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{Cl} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$	$\text{Cl}-\text{Cl}$
covalente	$\begin{array}{c} \text{Cl} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{Cl} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$	$\text{Cl}-\text{Cl}$		

4. EMPIEZA CON AYUDA PERO RÁPIDAMENTE SE HACE CON LA TAREA Y CONTINUA SOLO

Ago Gim Ang Ric	<p>Ric: En la representación del enlace H-F dice que el guión representa: <i>"la cantidad de electrones que comparten"</i>. En el enlace Na y O escribe: Na-O-Na. Ante la pregunta cómo se unen los iones, el alumno responde: <i>"en realidad no se unen... se atraen... por la diferencia de cargas"</i> y cuando se le pregunta qué significa el guión entre los átomos de Na y O, dice: <i>"Ah!! No corresponde..."</i> En el enlace metálico del Mg: <i>"sería como un enlace iónico ¿o no? Porque el Mg pierde electrones... (Piensa) entonces serían varios átomos de Mg que pierden electrones..."</i></p>				
	<p>Ang: Clasifica los enlaces covalentes en polares y apolares. En el HF considera que es covalente polar porque el F es más electronegativo que el H. En los enlaces iónicos no muestra la transferencia de electrones. Pero menciona que se forman iones.</p>				
Óxido de sodio	<table border="1"> <tr> <td>Na₂O</td> <td>Iónica</td> <td> $\text{Na} \cdot \cdot \text{O} \cdot \cdot \text{Na}$ </td> <td> $\text{Na}^+ \text{O}^{2-} \text{Na}^+$ </td> </tr> </table>	Na ₂ O	Iónica	$\text{Na} \cdot \cdot \text{O} \cdot \cdot \text{Na}$	$\text{Na}^+ \text{O}^{2-} \text{Na}^+$
Na ₂ O	Iónica	$\text{Na} \cdot \cdot \text{O} \cdot \cdot \text{Na}$	$\text{Na}^+ \text{O}^{2-} \text{Na}^+$		
	<p>En un primer momento escribe la representación del enlace iónico como: Na-Cl y Cl-Ca-Cl y cuando se le pregunta cómo se unen, responde: <i>"por atracción de las cargas"</i>. Es decir que sabe que se forman iones y que éstos se atraen por las fuerzas electrostáticas, pero no los representa, luego corrige.</p>				
Cloruro de sodio	<table border="1"> <tr> <td>NaCl</td> <td>Iónica</td> <td> $\text{Na} \cdot \cdot \text{Cl} \cdot \cdot$ </td> <td> $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$ </td> </tr> </table> 	NaCl	Iónica	$\text{Na} \cdot \cdot \text{Cl} \cdot \cdot$	$\text{Na}^+ \text{Cl}^-$
NaCl	Iónica	$\text{Na} \cdot \cdot \text{Cl} \cdot \cdot$	$\text{Na}^+ \text{Cl}^-$		
Cloruro de calcio	<table border="1"> <tr> <td>CaCl₂</td> <td>Iónica</td> <td> $\cdot\cdot \text{Cl} \cdot \cdot \text{Ca} \cdot \cdot \cdot\cdot \text{Cl} \cdot \cdot$ </td> <td> $\text{Cl}^- \text{Ca}^{2+} \text{Cl}^-$ </td> </tr> </table> 	CaCl ₂	Iónica	$\cdot\cdot \text{Cl} \cdot \cdot \text{Ca} \cdot \cdot \cdot\cdot \text{Cl} \cdot \cdot$	$\text{Cl}^- \text{Ca}^{2+} \text{Cl}^-$
CaCl ₂	Iónica	$\cdot\cdot \text{Cl} \cdot \cdot \text{Ca} \cdot \cdot \cdot\cdot \text{Cl} \cdot \cdot$	$\text{Cl}^- \text{Ca}^{2+} \text{Cl}^-$		
	<p>Gim: En cuanto al enlace HF, manifiesta que comparten <i>"Un solo par de electrones"</i> y que el guión significa que <i>"estos 2 están unidos porque comparten los electrones"</i>. Respecto si los cationes sodio y el anión oxígeno están unidos por un enlace: <i>"Y no... porque están cediendo y ganando electrones y... no forman un enlace químico"</i>.</p>				



	<table border="1"> <tr> <td>Cloruro de sodio</td> <td>NaCl</td> <td>Unión Iónica</td> <td>$\overset{\times\times}{\text{Na}} \cdot \overset{\times\times}{\text{Cl}}$</td> <td>$\text{Na}^+$ Cl^-</td> </tr> </table>	Cloruro de sodio	NaCl	Unión Iónica	$\overset{\times\times}{\text{Na}} \cdot \overset{\times\times}{\text{Cl}}$	Na^+ Cl^-	
Cloruro de sodio	NaCl	Unión Iónica	$\overset{\times\times}{\text{Na}} \cdot \overset{\times\times}{\text{Cl}}$	Na^+ Cl^-			

En el modelo de bolas y varillas, coloca a las esferitas (iones) sueltas porque dice que: "no están unidos"... "bueno, lo están por electrostática no por una unión física, si no por atracción porque son 2 cargas positivas y 2 cargas negativas".

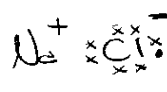
5. DESDE EL PRINCIPIO MUESTRA GRAN DESTREZA EN LA REALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD

Mat	Mat (Con respecto al enlace entre dos átomos de oxígeno para formar la molécula de oxígeno):					
Fac	A: Esta sería... (muestra la molécula)					
Rac	E: A ver ¿esto qué significa? (señala los dos palillos que unen las esferitas)					
Gal	A: Los electrones... compartidos entre los 2 átomos					
Flo	E: Bien, los electrones compartidos y... ¿comparten un par de electrones, los átomos?					
Nan	A: Sí, 2 pares porque son 6, la valencia 6...no perdón, los electrones del último nivel son 6 y tiene que compartir para estabilizarse.					
Nie	E: Compartir 2 y aquí está compartiendo... ¿cuántos? A: 2 E: O sea cada oxígeno ... A: 4 en total					
	<table border="1"> <tr> <td>Oxígeno</td> <td>O₂</td> <td>covalente</td> <td>$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}} \overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$</td> <td>O=O</td> </tr> </table>	Oxígeno	O ₂	covalente	$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}} \overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$	O=O
Oxígeno	O ₂	covalente	$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}} \overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$	O=O		
	El modelo de bolas y varillas es correcto desde el punto de vista científico.					
	Gal: En el fluoruro de hidrógeno considera: "El electrón del hidrógeno está más cerca del fluor porque es más electronegativo... se forma un polo y es covalente polar".					
	<table border="1"> <tr> <td>Fluoruro de hidrógeno</td> <td>HF</td> <td>$\text{H} \times \text{F} \cdot$</td> <td>H-f</td> <td>covalente</td> </tr> </table>	Fluoruro de hidrógeno	HF	$\text{H} \times \text{F} \cdot$	H-f	covalente
Fluoruro de hidrógeno	HF	$\text{H} \times \text{F} \cdot$	H-f	covalente		
	En el enlace de los átomos de cloro: "el par de electrones tiene que estar al medio porque como son iguales, los 2 tiran igual al par de electrones". "Es covalente no polar".					
	<table border="1"> <tr> <td>Cloro</td> <td>Cl₂</td> <td>$\overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}} \overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}$</td> <td>Cl-Cl</td> <td>covalente</td> </tr> </table>	Cloro	Cl ₂	$\overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}} \overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}$	Cl-Cl	covalente
Cloro	Cl ₂	$\overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}} \overset{\cdot\cdot}{\text{Cl}}$	Cl-Cl	covalente		
	En el enlace de los átomos de nitrógeno: "es covalente no polar, los 2 átomos son iguales".					
	En los compuestos iónicos trata que los palillos no se vean para mostrar así que los iones se atraen por fuerzas electrostáticas.					
	Reconoce que el enlace del magnesio y del sodio es metálico "es una red, una macromolécula... ¿pero cómo lo represento?... no sé..."					
	<table border="1"> <tr> <td>Magnesio</td> <td>Mg</td> <td>Mg^{\times}</td> <td>?</td> <td>metálico</td> </tr> </table>	Magnesio	Mg	Mg^{\times}	?	metálico
Magnesio	Mg	Mg^{\times}	?	metálico		

Fac (Con respecto al enlace del oxígeno con el hidrógeno para formar agua):
 A: *En el agua es covalente... Y tengo el oxígeno con 6 y los 2 hidrógeno que tienen 1*
 E: Bien
 A: *No me acuerdo el ángulo (muestra el enlace)*
 El modelo de bolas y varillas es correcto desde el punto de vista científico.

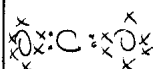
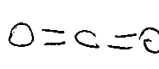
Agua	H ₂ O	Covalente		
------	------------------	-----------	---	--

(En la formación del cloruro de sodio)
 A: *El cloruro de sodio... es iónico. El sodio tiene 1 y el cloro tiene 7 entonces va a ser.... así (trabaja y muestra como quedan los iones)*

Cloruro de sodio	NaCl	Iónico	
------------------	------	--------	---


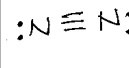




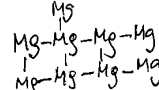
(En la formación del dióxido de carbono)
 A: *El dióxido de carbono es covalente... el oxígeno tiene 6 y el carbono tiene 4 (electrones), entonces... (piensa y va trabajando) y si... van a tener un doble enlace...*
 A: *Y con la notación de Lewis, vamos a poner que el carbono tiene 4 y el oxígeno 6... y así (Trabaja en silencio y muestra el enlace)*

Dióxido de carbono	CO ₂	Covalente		
--------------------	-----------------	-----------	---	---



Flo: En general identifica el tipo de enlace según se trate de metales o no metales. Además considera la electronegatividad, por ejemplo en el óxido de sodio: *"los no metales son más electronegativos, entonces en los enlaces iónicos, el no metal al ser mucho más electronegativo que el metal, atrae tanto, tanto al electrón que lo arranca y ahí se forman los iones positivos en el metal y negativo en el no metal"*. Tiene en cuenta los electrones libres en el nitrógeno y el oxígeno.

Nitrógeno	N ₂	Covalente Triple		
Agua	H ₂ O	Covalente Simple		

Magnesio	Mg	Metálica	
----------	----	----------	---



Anexo 5

CATEGORÍAS ESTRUCTURALES

MÓDULO 5: MOLECU

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	Conciben la idea de que la fórmula molecular es un reflejo de cómo están unidos los átomos.	1	Unen los átomos indicados en la fórmula en un orden arbitrario.	Agu, Cat, Fra, Gab, Gac, Gua, Jos, Jul, Mic, Mar, Jer, Pao, Ina, Cla, Gui, Cia
2	Modelizan las moléculas relacionando la forma y la estructura correctamente, en todos los casos.	3	Unen los átomos indicados en la fórmula consiguiendo la forma y estructura adecuada de la molécula en todos los casos.	Oli, Dan
3	Modelizan las moléculas relacionando la forma, estructura y el número de enlaces con alguna/as excepción/es.	2	Unen los átomos indicados en la fórmula consiguiendo la forma y estructura adecuada de la molécula con alguna/as excepción/es.	Ago, Her, Gim, Mav, Vic, Ang, Rac, Mas, Mel, Ric, Rey, Nan, Var, Pab, Nie
		4	Unen los átomos indicados en la fórmula explicitando, además de la forma y estructura adecuada de las moléculas, el número de enlaces correcto, con alguna/as excepción/es.	Kar, Luc, Mat
4	Modelizan las moléculas relacionando la forma, la estructura y los enlaces correctamente, en todos los casos.	5	Unen los átomos indicados en la fórmula explicitando, además de la forma y estructura adecuada de las moléculas, el número de enlaces correcto en todos los casos.	Bel, Fac, Gal, Flo

MÓDULO 10: ENLA_1

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No alcanzan a realizar la actividad.	1	No alcanzan a realizar la actividad.	Mar
2	Respuestas erróneas, ausentes o que incluyen elementos antropológicos.	2	Respuestas erróneas o ausentes.	Gua, Gac, Cla, Bel, Pab
		3	Respuestas que incluyen elementos antropológicos.	Cat, Jul, Fra, Jos, Oli, Ina, Dan
3	Respuestas macroscópicas o que reproducen la pregunta.	4	Respuestas macroscópicas.	Gab, Gim, Gui, Her, Nan Mav, Cia, Rey
		5	Respuestas que reproducen la pregunta.	Ago, Jer, Luc, Ang, Rac, Mel, Pao, Kar, Mic, Agu
4	Respuestas microscópicas que ponen de manifiesto la idea de estabilidad.	6	Respuestas correctas científicamente.	Mat, Vic, Fac, Gal, Mas, Flo, Ric, Var, Nie

MÓDULO 11: ENLA_2

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No alcanzan a realizar la actividad.	1	No alcanzan a realizar la actividad.	Mar
2	Respuestas que incluyen elementos antropológicos.	3	Respuestas que incluyen elementos antropológicos.	Gua, Rey
3	Respuestas erróneas o ausentes.	2	Respuestas erróneas o ausentes.	Agu, Cat, Gab, Gac, Fra, Jos, Mic, Oli, Gim, Gui, Cla, Pab, Ina, Her, Nan, Jer, Cia
4	Respuestas macroscópicas y también microscópicas que incluyen las ideas de enlaces o fuerzas químicas y el octeto electrónico.	4	Respuestas macroscópicas.	Pao
		5	Respuestas que mencionan los enlaces o las fuerzas químicas.	Jul, Kar, Mat, Vic, Fac, Rac, Gal, Mas, Flo, Ric, Nie, Ago, Luc, Mav, Ang, Var, Dan
		6	Respuestas que mencionan el protagonismo del octeto electrónico.	Bel, Mel

MÓDULO 12: ENLA_3

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No llegan a realizar la actividad.	1	No alcanzan a realizar la actividad.	Mar
2	Respuestas ausentes o que incluyen elementos antropológicos.	2	Respuestas ausentes o que incluyen elementos antropológicos.	Gua, Mic
3	Respuestas macroscópicas fundamentadas en los diferentes enlaces y también respuestas microscópicas basadas en la igualdad o no de los átomos constituyentes o en la formación de diferentes moléculas.	3	Respuestas macroscópicas que conciben distinto tipo de enlace.	Agu, Dan, Gac, Var
		4	Respuestas microscópicas sin significado, que se justifican ya sea, en la igualdad o no de los átomos constituyentes o en la formación de diferentes moléculas.	Cat, Ina, Cla, Ago, Her, Pab, Oli, Cia, Jer, Mel, Fra, Jos, Nan, Nie, Gab, Jul, Rey, Gui
4	Respuestas microscópicas con argumentos basados en la teoría de orbitales atómicos.	5	Respuestas microscópicas con argumentos basados en la teoría de orbitales atómicos.	Ang, Bel, Mav, Mat, Vic, Gim, Ric, Fac, Rac, Gal, Flo, Pao, Kar, Luc, Mas

MÓDULO 14: IONES1

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No llegan a realizar esta actividad.	1	No llegan a realizar esta actividad.	Gua, Jul, Mar
3	Intentan realizar la tarea solos.	2	Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no pueden llegar al final sin ella.	Mic, Kar, Mav, Mat, Mel, Gui, Pab
		3	Empiezan con ayuda y continúan sin ella, salvo de modo puntual que les hace reaccionar y corregir.	Agu, Cat, Gab, Luc, Var, Dan
		4	Empiezan con ayuda pero rápidamente se hacen con la tarea y continúan solos.	Fra, Gac, Jos, Jer, Bel, Ago, Mas, Ina, Cla, Rey
4	Realizan la tarea sin ayuda.	5	Desde el principio muestran gran destreza en la realización de la tarea.	Oli, Her, Gim, Ang, Fac, Rac, Gal, Flo, Pao, Ric, Vic, Cia, Nan, Nie

MÓDULO 16: MODE_2

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No alcanzan a realizar la actividad o llegan muy agobiados.	1	No alcanzan a realizar la actividad o llegan muy agobiados.	Gua, Mar, Jul, Jos, Gui, Dan
2	Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no pueden llegar al final sin ella.	2	Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no pueden llegar al final sin ella.	Agu, Cat, Fra, Gac, Kar, Luc, Mav, Vic, Bel, Mic, Cia, Var, Pab
3	Empiezan con ayuda y continúan sin ella, salvo de modo puntual que les hace reaccionar y corregir.	3	Empiezan con ayuda y continúan sin ella, salvo de modo puntual que les hace reaccionar y corregir.	Gab, Oli, Her, Jer, Mas, Mel, Pao, Ina, Cla, Rey
4	Realizan la tarea sin ayuda.	4	Empiezan con ayuda pero rápidamente se hacen con la tarea y continúan solos.	Ago, Gim, Ang, Ric
		5	Desde el principio muestran gran destreza en la realización de la tarea.	Mat, Fac, Rac, Gal, Flo, Nan, Nie

MÓDULO 15: CAUSA

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No alcanzan a realizar la actividad o llegan muy agobiados.	1	No llegan a realizar esta actividad.	Gua, Jul, Mar
2	Respuestas que incluyen elementos antropológicos.	3	Respuestas que incluyen elementos antropológicos.	Jos
3	Respuestas macroscópicas, erróneas o ausentes	2	Respuestas erróneas o ausentes.	Cat, Mic
		4	Respuestas macroscópicas.	Gac, Cia, Gui, Ina, Cla, Pab
4	Respuestas correctas asociadas a una estabilidad energética o a una regla nemotécnica.	5	Respuestas correctas asociadas a una regla nemotécnica.	Fra, Oli, Luc, Ago, Gim, Mat, Vic, Rac, Gal, Gab, Kar, Ang, Pao, Rey, Nan, Var, Nie, Dan
		6	Respuestas correctas asociadas a una estabilidad energética.	Agu, Her, Jer, Mav, Mas, Mel, Flo, Ric, Bel, Fac

MÓDULO 13: MODELE

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No alcanzan a realizar la tarea.	1	No alcanzan a realizar la actividad.	Mar
2	Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no pueden llegar al final sin ella.	2	Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no pueden llegar al final sin ella.	Cat, Jos, Jul, Gua, Jer, Mav
3	Intentan realizar la tarea solos.	3	Empiezan con ayuda y continúan sin ella, salvo de modo puntual que les hace reaccionar y corregir.	Fra, Luc, Ago, Kar, Agu, Gac, Dan
		4	Empiezan con ayuda pero rápidamente se hacen con la tarea y continúan solos.	Mat, Oli, Gab, Mic, Mas, Cla, Gui, Cia, Pab, Nie
4	Desde el principio muestran gran destreza en la realización de la tarea.	5	Desde el principio muestran gran destreza en la realización de la tarea.	Vic, Her, Gim, Bel, Fac, Ang, Rac, Gal, Mel, Flo, Pao, Ric, Ina, Rey, Nan, Var

MÓDULO 6: REAC_1

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
2	Construyen los modelos de bolas y varillas de las sustancias que intervienen en las reacciones y posteriormente tratan de escribir sus fórmulas químicas, intentando demostrar la relación entre ambas representaciones.	1	Construyen los modelos de bolas y varillas de las sustancias que intervienen en las reacciones y posteriormente tratan de escribir sus fórmulas químicas, sin demostrar que haya relación entre ambas representaciones.	Jos, Mar, Agu, Cat, Jul, Ago, Oli, Kar, Gim, Luc, Mav, Vic, Rey, Var, Pab
		2	Construyen los modelos de bolas y varillas de las sustancias que intervienen en las reacciones y posteriormente tratan de escribir sus fórmulas químicas, demostrando que comprenden la relación entre ambas representaciones.	Gua, Mic, Fra, Gab, Gac, Her, Jer, Mat, Ric, Ina, Cla, Gui, Cia, Nan
3	Escriben las ecuaciones químicas, las ajustan y, a continuación, arman los modelos de bolas y varillas mostrando que estos les ayudan a comprender mejor las ecuaciones.	3	Escriben las ecuaciones químicas, las ajustan y, a continuación, arman los modelos de bolas y varillas mostrando que estos les ayudan a comprender mejor las ecuaciones.	Ang, Bel, Fac, Gal, Pao, Mel, Nie, Dan
4	Escriben las ecuaciones químicas, las ajustan y, a continuación, arman los modelos de bolas y varillas sin demostrar que estos le aporten más conocimiento del que ya tienen.	4	Escriben las ecuaciones químicas, las ajustan y, a continuación, arman los modelos de bolas y varillas sin demostrar que estos le aporten más conocimiento del que ya tienen.	Rac, Mas, Flo

MÓDULO 7: REAC_2

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	No han comprendido el significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia y proponen otras unidades arbitrarias.	2	No han comprendido el significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia y proponen otras unidades arbitrarias.	Gac, Mar, Var, Pab
2	Introducen elementos macroscópicos en el proceso y construyen productos sin comprender el significado de molécula.	1	Introducen elementos macroscópicos en el proceso y construyen productos sin comprender el significado de molécula.	Fra, Jos
3	Solo al principio de la actividad no comprendieron el significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia, pero reaccionan y rectifican.	3	Solo al principio de la actividad no comprendieron el significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia, pero reaccionan y rectifican	Agu, Cat, Jul, Oli, Jer, Ang, Pao, Cla, Rey, Cia
4	Desde el principio muestran buena comprensión del significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia y tratan de comprender el significado estructural y el de macromolécula.	4	Desde el principio muestran buena comprensión del significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia, pero no del significado estructural o tampoco de la macromolécula.	Gab, Mic, Her, Kar, Mav, Vic, Ago, Bel, Rac, Gal, Luc, Nie
		5	Desde el principio, muestran buena comprensión del significado de molécula como unidad identificatoria de cada sustancia, y también del concepto de macromolécula.	Gua, Gim, Mat, Fac, Mas, Mel, Flo, Ric, Ina, Gui, Nan, Dan

MÓDULO 8: REAC_3

CATEGORÍA ESTRUCTURAL	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS ESTRUCTURALES	CATEGORÍA EMPÍRICA	DESCRIPCIÓN DE CATEGORÍAS EMPÍRICAS	SUJETOS
1	Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no pueden llegar al final sin ella.	1	Necesitan ayuda durante toda la actividad, pues no pueden llegar al final sin ella.	Mar, Vic, Jer, Kar
2	Empieza con ayuda y continúa sin ella, salvo de modo puntual que le hace reaccionar o corregir.	2	Empiezan con ayuda y continúan sin ella, salvo de modo puntual que les hace reaccionar y corregir.	Agu, Gac, Mic, Luc, Mav, Mas
3	Intentan realizar la tarea sin ayuda o, desde el principio, muestra gran destreza en la realización de la actividad.	3	Empiezan con ayuda pero rápidamente se hacen con la tarea y continúan solos	Fra, Ago, Her, Bel, Ang, Gal, Pao, Cla, Var, Nan, Pab
		4	Desde el principio, muestran gran destreza en la realización de la actividad.	Cat, Gab, Gua, Jos, Jul, Oli, Gim, Mat, Fac, Mel, Ric, Rac, Flo, Ina, Rey, Gui, Cia, Nie, Dan