



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE QUÍMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA

### IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS EN CONCEPTOS QUÍMICOS FUNDAMENTALES EN LOS LIBROS DE TEXTO DE BIOLOGÍA DE SECUNDARIA. IMPLICACIONES PARA EL APRENDIZAJE

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA  
P R E S E N T A

CLARA ROSA MARÍA ALVARADO ZAMORANO





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Jurado Asignado:

Presidente	Profa.	Silvia Bello Garcés
Vocal	Prof.	José María García Saiz
Secretario	Profa.	Gisela Hernández Millán
1er. Sup.	Prof.	Luis Antonio Huerta Tapia
2do. Sup.	Prof.	Horacio García Fernández

Sitio donde desarrolló el tema  
Centro de Instrumentos, UNAM

Asesora

  
Silvia Bello Garcés

Sustentante

Clara Rosa Ma. Alvarado Zamorano

## AGRADECIMIENTOS

A mi madre, a la cual agradezco tanto amor y apoyo en todo momento.

A mi padre†, gracias al cual tuve la fortuna de tener un Ángel en vida.

A Ricardo, cuya compañía es una motivación personal y profesional.

A mis hermanos Guadalupe, Carlos, Tere, Alejandra y Rafael, compañeros de mi existencia.

A la Quím. Silvia Bello, a quien agradezco profundamente su incondicional respaldo durante el desarrollo de esta tesis.

A mis compañeros del Laboratorio de Cognición, Cibernética y Aprendizaje de la Ciencia, y de la Sección de Dibujo, del Centro de Instrumentos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

## CONTENIDO

### Presentación

I.	<b>Importancia del libro de texto en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias .....</b>	<b>1</b>
II.	<b>Preconceptos de alumnos relacionados con conceptos químicos fundamentales (átomo, partículas elementales, elemento, molécula, compuesto, mezcla) encontrados en la revisión bibliográfica .....</b>	<b>8</b>
2.1	Preconceptos.....	8
2.1.1	Materia.....	12
2.1.2	Partículas.....	15
2.1.3	Átomos y moléculas.....	18
2.1.4	Elementos, compuestos y mezclas.....	31
III.	<b>Análisis del tratamiento de conceptos químicos fundamentales mencionados en los libros de texto de Biología de nivel secundaria .....</b>	<b>34</b>
3.1	Átomo.....	36
3.1.1	Protones.....	40
3.1.2	Neutrones.....	41
3.1.3	Electrones.....	41
3.1.4	Iones.....	43
3.1.5	Enlace químico.....	43
3.1.6	Valencia.....	45
3.1.7	Reacciones químicas.....	46
3.1.8	Modelos atómicos.....	47

3.2	Molécula.....	48
3.2.1	Biomoléculas.....	50
3.2.2	Moléculas Orgánicas e Inorgánicas.....	50
3.3	Elemento.....	51
3.3.1	Relaciones elemento – compuesto y elemento – molécula.....	52
3.3.2	Elementos químicos en la naturaleza.....	53
3.3.3	Elementos químicos y el agua.....	54
3.4	Compuesto.....	55
3.4.1	Compuestos orgánicos e inorgánicos.....	55
3.4.2	Fórmulas.....	56
3.5	Mezcla.....	57
<b>IV</b>	<b>Implicaciones para el aprendizaje .....</b>	<b>59</b>
4.1	Comentarios sobre los preconceptos más destacados.....	59
4.1.1	Atomo.....	59
4.1.2	Molécula.....	62
4.1.3	Elemento.....	62
4.1.4	Compuesto.....	64
4.1.5	Mezcla.....	65
<b>V</b>	<b>Reflexiones finales .....</b>	<b>66</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>68</b>
	<b>Libros de texto analizados .....</b>	<b>72</b>

## PRESENTACIÓN

Uno de los obstáculos más importantes para el aprendizaje de diversos procesos biológicos relacionados con la fisiología celular es el desconocimiento de conceptos y procesos químicos. El alumno, para comprender tales procesos, requiere asumir que la composición atómica es universal abarcando indistintamente a la materia viva y a la materia inerte.

La enseñanza de la Biología no implica graves problemas cuando se orienta a niveles simplemente descriptivos a nivel macroscópico; sin embargo, cuando aborda aspectos básicos como estructura y funciones celulares, se encuentra con serias dificultades.

Los conocimientos básicos de procesos fisiológicos requieren conocimientos químicos y un adecuado nivel de abstracción, pues el alumno debe pasar de una visión macroscópica "organismo vivo como unidad" a una visión microscópica "célula como unidad funcional del ser vivo", en la que tienen lugar una serie de reacciones bioquímicas.

Un porcentaje bastante elevado de estudiantes no admite la constitución atómica de la materia que conforma a los seres vivos, peor aún, posee numerosas y diversas ideas confusas en relación a la naturaleza y estructura de la materia en general.

¿Qué papel juegan los libros de texto en estas creencias de los alumnos? ¿Cuáles son algunas de las principales ideas previas de los estudiantes sobre conceptos químicos fundamentales? ¿Cuáles son los preconceptos más destacados identificados en los libros de texto analizados?

Para tratar de responder estas preguntas en esta tesis, se efectuó la revisión de 78 artículos y el análisis (de contenido temático, de problemas conceptuales, de recursos visuales y didácticos, etc) de 26 libros de texto de Biología de secundaria, autorizados por la Secretaría de Educación Pública, con el propósito fundamental de contribuir al mejoramiento de la enseñanza-aprendizaje de conceptos químicos fundamentales, en los campos de la Biología y la Química.

## I. IMPORTANCIA DEL LIBRO DE TEXTO EN LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

Los libros de texto representan una de las principales variables en el proceso enseñanza-aprendizaje, junto con los maestros, alumnos, curriculum e instalaciones escolares, principalmente laboratorios, naturalmente sin hacer a un lado a los padres de familia y a las autoridades educativas.

En un salón de clase típico de nivel elemental y medio superior, los libros de texto de ciencias se usan frecuentemente para transmitir gran parte de la información que los estudiantes reciben en sus cursos. Influyen sobre cómo los maestros organizan el curriculum y cómo los estudiantes perciben la actividad científica, por lo cual pueden ayudar a atraer o alejar a los alumnos hacia el estudio de la ciencia. La ciencia enseñada en el salón de clase es predominantemente guiada, organizada y restringida al contenido del libro de texto. El contenido a ser aprendido, las demostraciones que hace el maestro, las investigaciones que deben elaborar los estudiantes, y los conceptos a ser formados por los estudiantes, usualmente se encuentran en los libros de texto. La imagen de ciencia presentada en los salones está frecuentemente limitada a los hechos y conceptos incluidos en los libros de texto (Eltिंगe, E. M. y Roberts C. W., 1993; Meyer, L. A. et al., 1988; Potter, E. F. y Rosser, S. V., 1992; Renner, J. W., Abraham, M. R. et al., 1990).

Numerosos maestros, sobre todo los nuevos, se apoyan demasiado en el libro de texto, frecuentemente siguiéndolo página a página, por lo que el libro define qué enseñan los docentes y qué aprenden sus alumnos (Chiang-Soong, B. y Yager, R. E., 1993; Chiappetta, E. L. et al., 1991 y 1993). Generalmente para un nuevo maestro, la única forma razonable de estructurar un curso es elegir algún libro de texto y orientar su curso explicando al alumno el texto que está usando; en cambio, el maestro maduro usará el texto como referencia, quizás utilizando sólo parte del texto o sus propias notas. El libro de texto nunca debe reemplazar al maestro.

Pese a que existen diversas ayudas didácticas, los estudiantes aún consideran el libro de texto como una de sus principales fuentes de información, incluso sus padres lo aceptan como el núcleo de la enseñanza y protestan si no se usa. Cuando los estudiantes intentan comprender un concepto, usualmente recurren al libro de texto, al maestro y a sus compañeros de clase (Staver, J.R. y Lumpe, A.T., 1993); ellos usualmente se quejan de que no saben cómo seleccionar qué es relevante de la vasta información de un libro de texto, dedicándose a subrayar, resumir y memorizar (Beishnizen, J. et al., 1994).

El libro de texto se utiliza en ciencias como un recurso didáctico básico en países y situaciones educativas distintas, en todos los niveles de enseñanza de la ciencia y en casi todas las escuelas (Wandersee, J.H., 1988). Incluso el célebre filósofo e historiador de la ciencia T. S. Kuhn se refiere, en uno de sus ensayos, al libro de texto como "la única fuente mediante la cual la mayoría de las personas entran en contacto con las ciencias físicas". (López V., S. J., 1993).



Shymansky, Kyle y Alport en 1983 completaron una investigación de 25 años en Estados Unidos comparando el comportamiento de estudiantes con un nuevo currículum de ciencias (sin libro de texto único) y el de los estudiantes con cursos tradicionales (basados en un libro). Los estudiantes con los nuevos programas se comportaron mejor en logros alcanzados (pensamiento crítico y analítico, resolución de problemas y creatividad). La lectura fue la forma predominante de instrucción en los salones de clase con libro de texto único, mientras que el otro tipo de grupo se caracterizó por el uso de diversas actividades, incluyendo discusión de lecturas y de experimentos de laboratorio, construcción de modelos, exposiciones y otros. Los maestros con libro de texto único no estaban usualmente involucrados en proyectos de desarrollo curricular, los maestros que recurrían a diversas fuentes, sí; incluso los de texto único tenían actitud pasiva y divulgaban sus conocimientos según la tradición autoritaria (Gottfried, S. S. y Kyle, W.C., 1992).

Cuando la dependencia pedagógica de maestros y alumnos en los libros de texto es notoria, se presenta alto grado de incompreensión en conceptos científicos y la aplicación de esos conceptos, pese a que la ciencia y la tecnología incrementan constantemente su importancia en las actividades cotidianas de la población (Hamm, M. y Adams, D., 1989).

La mayoría de los estudios concernientes a cómo el libro de texto ha sido usado en el salón de clase de ciencias, ha sido enfocada a la legibilidad de la información, más que a cómo el libro de texto puede ser usado para desarrollar teorías, habilidades y estrategias en el salón de clase, que puedan promover la lectura y comprensión efectivas de libros de texto de ciencias, enseñando a los estudiantes el proceso de cómo construir nuevo conocimiento. La comprensión de las ideas científicas de lecturas (opuesta a su memorización) depende del conocimiento previo del lector basado en la experiencia directa con el concepto a ser comprendido, por lo anterior, la lectura sola no es suficiente para la comprensión de conceptos científicos. (Abraham, M.R., Grzibowski, E.B., et al., 1992).

El uso cuidadoso de los libros de texto puede mejorar la habilidad de lectura del estudiante. La instrucción formal en lectura en ciencias ayuda al estudiante a desarrollar la habilidad para tratar con vocabulario especializado, con la estructura de oraciones complicadas y con la dificultad de conceptos que caracterizan a los textos científicos (Lyman, D. G. y Willett, J. B., 1995). Es deseable que los estudiantes de ciencias sean "competentes entendedores" de sus libros de texto, pues, la comprensión es la condición esencial de la lectura; sin comprensión de lo que se lee, no hay lectura (Wandersee, J.H., 1988).

Diversos estudios en E. U. han investigado cómo y por qué alrededor del 90% de los maestros de Biología, y en general de ciencias, basan sus clases en el libro de texto utilizándolo alrededor del 95% del tiempo de su clase (Harms y Yager, 1981). En una de las investigaciones más serias con 219 profesores de la Asociación Nacional de Profesores de Biología, que impartían cursos en diversos niveles, algunos de los principales hallazgos que se reportaron fueron:

- a) En el nivel básico los maestros lo utilizan para reforzar más la lección; a nivel bachillerato por la razón anterior y además para introducir el tema, para que los

estudiantes aprendieran información independientemente y para ayudarlos a aprender “antecedentes y terminología” e introducir nuevos conceptos; a nivel avanzado para que los estudiantes aprendieran independientemente la información. En esa investigación se concluyó que en el nivel básico el libro de texto “debe ser usado como un reforzador de información. Que la información debe venir primero del maestro, del laboratorio o de demostraciones y que los libros de texto deben ser secundarios en el salón de clase”. Incluso se dice que “en una situación ideal, los maestros de bachillerato universitario necesitan proporcionar la mayoría del contenido de la información”.

- b) Los estudiantes de nivel básico leen aproximadamente 10 páginas del libro por semana.
- c) Los maestros de nivel básico enseñaban previamente vocabulario a los estudiantes, les explicaban cómo estaba escrito el texto científico, les leían en voz alta y que mientras los alumnos leían en voz alta o después de la lectura, usualmente les hacían preguntas para determinar si entendían lo que leían. Estos maestros describían su instrucción como más concreta y cercana al libro, por lo que consideraron que se aseguraban de que los alumnos aprendían los conceptos principales.
- d) Cuando los maestros de nivel básico dejaban cuestionarios basándose en los libros de texto, los estudiantes con frecuencia leían superficialmente los libros, enfocándose sólo a encontrar las respuestas; las acciones de los maestros indicaron que los maestros realmente no esperaban que los estudiantes aprendieran de sus lecturas. En cambio, los maestros de nivel avanzado expresaron que sus estudiantes sabían que las lecturas asignadas tenían el propósito de que aprendieran nueva información de otra fuente, por lo que leían más cuidadosamente.

Los estudiantes muestran un nivel por debajo de su capacidad. Hay cuestionamientos que se dirigen hacia si esto tiene relación con cómo se usan los libros de texto en el salón de clase de ciencias. Fuentes documentadas han atribuido principalmente a maestros y libros de texto la comprensión e incomprensión de conceptos por parte de los estudiantes. El uso del libro de texto asume que los estudiantes pueden relacionar el texto con lo que ya saben, es decir, con su esquema existente. Si el esquema apropiado no existe, el uso del libro de texto puede ser inapropiado y contribuir a que los estudiantes adquieran preconcepciones que son penetrantes, estables y resistentes al cambio (Renner, J.W., Abraham, M. R. et al., 1990; Santelices, C. L., 1990).

Desgraciadamente parece existir un gran consenso en la pobre calidad instruccional de los textos actuales, por diversas razones:

- Con frecuencia, están cargados de términos y conceptos nuevos para el estudiante que se explican superficialmente, sin tratarlos con la suficiente profundidad, obstaculizando la elaboración de ideas, creándose una situación de aprendizaje que provoca que los estudiantes memoricen información sin desarrollar comprensión, pues la información que no comprenden frecuentemente la memorizan (Chiappetta, E.L. et al., 1991; Gottfried, S.S. y Kyle, W.C., 1992; Lloyd, C.V., 1990). Gabel, D.L., en 1983, había detectado lo mismo al analizar el contenido de los libros de texto de ciencias de secundaria más

vendidos en Estados Unidos.

- Debido a que no hay una selección de los conceptos más importantes en cada tema, probablemente el alumno puede perderse ante la gran cantidad de conceptos y términos carentes de sentido para él, lo cual propicia que el estudiante opte por la memorización en lugar de tratar de comprender lo que está leyendo. Son escasos los libros que destacan las ideas principales, las cuales sirven de estímulo al estudiante en el procesamiento del texto. Numerosos estudios indican que los materiales científicos son considerados difíciles y frustrantes para leer (Wandersee, J.H., 1988).
- La mayoría de los libros de texto de ciencias modernos intentan presentar al estudiante lo que es considerado un "hecho científico establecido" de un tema. Los estudiantes son "atrapados" por la eficiencia en memorizar el "hecho científico" al responder cuestionarios y al aplicar fórmulas para resolver problemas.
- Muchos alumnos de ciencias ven poca conexión entre sus ideas sobre el mundo y lo que aprenden en los libros de ciencias. Estas ayudas didácticas deben relacionar a la ciencia con la vida diaria de los estudiantes sin comprometer la integridad del campo de estudio (Chiappetta, E.L. et al., 1991).
- Una característica frecuente de los textos escolares de ciencia es la de limitarse a enunciados declarativos, sin mayores explicaciones o sin referirse a problemas concretos. La mayoría enfatiza a la ciencia como un cuerpo de conocimiento de conceptos, leyes y teorías, sin darle importancia a la ciencia como una forma de pensar, a cómo los "científicos" crearon ideas y experimentos, al desarrollo histórico de los conceptos científicos, a las relaciones causa-efecto, a evidencias y pruebas, que son aspectos importantes de la actividad científica (Chiappetta, E.L., et al., 1991).
- Los libros de texto frecuentemente muestran una inadecuada introducción de muchos conceptos, uno de ellos es el de la naturaleza de la materia, por lo tanto, los alumnos son incapaces de hacer conexiones entre los conceptos, y la Química se vuelve fragmentada e imposible de aprender (Gabel, D.L., 1983).
- Muchos estudiantes se quejan de la cantidad de material y detalles de la mayoría de los textos (Gillespie, R.J., 1997). Se ha encontrado que libros de texto de ciencias de 6-9 grado de Estados Unidos (que corresponden al 6° de primaria y al 1°, 2° y 3° de secundaria en México), introducen el doble de nuevos términos comparados con libros de idiomas extranjeros de los mismos grados (Musheno, B.V. y Lawson, A., 1999). A los estudiantes frecuentemente se les da poco tiempo para analizar, interpretar o discutir sus ideas sobre información científica. Así, muchos conceptos y mucho vocabulario estudiados superficialmente pueden provocar frustración en los alumnos (Stucke, A. y Gannaway, S.P., 1996).
- Una de las principales fuentes de errores que presentan los libros de texto radica en la secuencia y relación de los temas en los libros.

- En algunos casos la estructura del texto en cuanto al grado de coherencia de los párrafos no es apropiada para el nivel de los alumnos. En ocasiones hay frases o proposiciones insertadas en el texto que no están relacionadas con la idea principal, o bien, palabras o frases innecesariamente difíciles. Además, con frecuencia presentan hechos inexactos.

## TERMINOLOGÍA

Frecuentemente la información contiene errores en el manejo de conceptos, por falta de claridad y de precisión en muchos de ellos. El lenguaje es un factor fundamental en el proceso de adquisición de conceptos. La utilización de palabras del lenguaje ordinario dentro del contexto científico, así como las palabras científicas incorporadas al lenguaje ordinario han hecho surgir muchos problemas en relación al aprendizaje de las ciencias. El uso incorrecto o descuidado de la terminología en los libros de texto, induce a la formación de errores en la conceptualización científica. Existe un vocabulario común a las ciencias que se caracteriza por la precisión de sus términos, los que a menudo tienen en este contexto sólo un significado (Barrass, R., 1984).

La estructura del lenguaje afecta la comprensión y la facilidad de lectura de los libros de ciencias. Es común en los libros de texto que se incluyan oraciones de compleja estructura, que a menudo incluyen gran cantidad de anáforas (palabras omitidas que el lector debe inferir), lo cual contribuye a dificultar la comprensión.

## VISUALIZACIÓN

El proceso de visualización es muy importante en el aprendizaje de conceptos y las analogías y los modelos intentan este proceso para ayudar a comprenderlos. El uso de analogías y modelos en un texto de ciencias es útil para ayudar al alumno a construir esquemas en temas desconocidos, facilitando la comprensión de conceptos, sin embargo, usualmente ni el autor del libro de texto, ni el profesor, explican o enseñan el mecanismo mental que el estudiante debe seguir para transferir atributos desde la información familiar a la desconocida (Santelices, C.L., 1990). El uso de analogías no produce siempre los efectos deseados porque una significativa proporción de estudiantes no comprenden suficientemente bien las analogías; algunos son incapaces de separar las analogías del contenido a aprender; otros sólo recuerdan la analogía y no el contenido a estudiar. Las analogías son cosas muy personales, así una buena analogía para el alumno X, no lo es para el alumno Y, porque no piensan igual (Thiele, R.B. y Treagust, D.F., 1995). Desde el punto de vista pedagógico es importante destacar la negativa costumbre que se tiene en los libros de texto de ciencias de presentar modelos y teorías como datos brutos de la realidad. En muchos libros franceses los modelos se presentan como objetos reales. Libros ingleses y australianos de ciencias físicas carecen de explicación sobre la función de teorías, leyes y modelos (López V., S.J., 1993). Cuando se estudia un libro de texto es fácil que el alumno malinterprete la naturaleza de los modelos científicos, pues sus autores no hacen una distinción clara entre el modelo científico y el mundo real (Andersson, B., 1986).

Numerosos educadores expresan que los dibujos tienen el potencial para hacer significativas contribuciones para los libros de texto, pues además de su papel decorativo, estimulan al alumno y apoyan la explicación de conceptos difíciles. Muchos estudios muestran que la relación del contenido de los textos se mejora con ilustraciones, por diversas razones: Las ilustraciones pueden motivar al alumno a estudiar el texto que acompañan; pueden enfocar la atención o inducir mayor procesamiento de la información del texto; pueden ayudar a clasificar o interpretar el contenido del texto que es difícil de comprender (Peeck, J., 1993). Sin embargo, hay puntos de vista pesimistas de los beneficios de ilustraciones en textos educacionales, pues a veces hay dibujos o diagramas que no apoyan al aprendizaje, porque son innecesarios para el texto, están señalados inadecuadamente o son complejos y difíciles de entender; incluso, con frecuencia tienen errores o refuerzan preconcepciones erróneas.

## OBSOLESCENCIA

Un grave problema que se presenta es que la información en un libro de texto puede volverse obsoleta rápidamente, por lo que los errores se perpetúan, pues muchos maestros creen erróneamente que los libros de texto son precisos, están actualizados y facilitan el aprendizaje (Musheno, B.V. y Lawson, A., 1999; Storey, R.D., 1990). Además, en ocasiones, el libro manifiesta deficiencias del autor en el conocimiento de las teorías vigentes sobre el tema, lo cual desgraciadamente con frecuencia no es detectado por los maestros.

## ERRORES

En los libros hay errores obvios que pueden ser reconocidos con relativa facilidad por maestros y alumnos; sin embargo, el mayor problema se presenta por errores que dan lugar a malas interpretaciones que pueden ser perpetuadas por muchos alumnos e incluso por los mismos maestros (Barrass, R., 1984).

Algunas actividades prácticas y experimentales están mal diseñadas, son poco precisas o incluso parecen recetas de cocina con resultados previsibles.

## PRECONCEPCIONES

La mayoría de los maestros de ciencias que se centran en los libros de texto, usualmente le prestan poca o nula atención a las preconcepciones de los estudiantes (Stinner, A., 1992).

En un análisis de libros de texto de Química de bachillerato se observó que la cantidad de material escrito era abundante, lo cual fue percibido en forma diferente por maestros y alumnos: A los maestros un libro de texto con gran cantidad de material textual les permite escoger sus temas favoritos para enseñarlos, pero los alumnos lo perciben como un montón de información que aprender y con muchas preguntas y problemas que resolver (Chiappetta, E.L. et al., 1991).

## APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Dado lo anterior, no debe sorprender que los libros de texto o la instrucción basada en el texto sea menos efectiva que otros métodos de enseñanza para crear aprendizaje significativo. Sin embargo, la instrucción basada en el texto es la realidad de la mayoría de las escuelas de nivel básico y medio superior.

## II. PRECONCEPTOS DE ALUMNOS RELACIONADOS CON CONCEPTOS QUIMICOS FUNDAMENTALES (ÁTOMO, PARTÍCULAS ELEMENTALES, ELEMENTO, MOLÉCULA, COMPUESTO, MEZCLA) ENCONTRADOS EN LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PRECONCEPTOS

La Teoría del Aprendizaje Cognitivo de Ausubel (Ausubel, D.P., et al., 1978) postula que los conceptos relevantes retenidos en la estructura cognitiva del estudiante son los factores más importantes que influyen en el aprendizaje de nuevos conceptos. La enseñanza debe identificar esos conceptos y construir alrededor de ellos. Las ideas que los estudiantes llevan al salón de clases son críticas para su posterior aprovechamiento. Los estudiantes, en cualquier área, tienen creencias basadas en experiencias anteriores y cuando difieren de aquéllas comúnmente aceptadas en la disciplina, diversos autores las han denominado: preconceptos, conceptos erróneos, ideas previas, preconcepciones, ideas alternativas, creencias intuitivas, creencias nativas, razonamiento espontáneo, estructuras alternativas, ciencia de niños, creencias ingenuas, etc. Estos términos se refieren a cualquier idea conceptual cuyo significado se desvía de aquél comúnmente aceptado por el consenso científico (Cho, H.H., et al., 1985; Griffiths, A.K. y Preston, K.R., 1992). Como características principales de las preconcepciones se admiten su persistencia, su coherencia interna con el sistema mental de cada individuo, su amplia extensión en todas las edades y niveles culturales, así como que abarcan un amplio rango de conceptos científicos. (Vázquez A.A., 1990).

Estas creencias pueden ser firmemente retenidas por un estudiante e impedir la comprensión de un determinado tema, pues con frecuencia son fuertemente resistentes al cambio y forman estructuras coherentes erróneas, incluso el alumno puede predecir en función de ellas, pero es incapaz de explicar el porqué de su predicción (Santelices, C.L., 1990; Stavy R., 1998).

La incomprensión y las preconcepciones de estudiantes en la ciencia escolar a todos niveles, constituye un problema fundamental para educadores, investigadores, maestros y, por supuesto, para estudiantes. Las ideas previas no están restringidas sólo a los niños y jóvenes, aun los adultos las tienen sobre algunos fenómenos naturales, por lo tanto se vuelven parte de las teorías del sentido común. La educación en ciencias dentro de este contexto, debe ser un intento de acercar las construcciones personales con respecto a la naturaleza de las ideas científicas vigentes (Krnél, D., et al., 1998).

En ocasiones las creencias de los alumnos pueden interferir con las ideas que se imparten en clase, presentándose diversas situaciones (De Posada, A., J.M., 1993):

- El alumno puede malinterpretar las ideas o conceptos dados por el maestro o el libro de texto, reforzando los que él ya poseía.

- A veces las creencias de los alumnos pueden mezclarse con la concepción científicamente establecida. Ambas pueden coexistir, incluso siendo contradictorias. El alumno rechaza el punto de vista del profesor, pero lo estudia exclusivamente con fines académicos, sobre todo con el propósito de aprobar exámenes.
- Finalmente, puede dominar el punto de vista científico.

Gabel, D.L. (1989) ; Griffiths, A.K. y Preston, K.R. (1992); Nakhleh, M.B., (1992) expresan que hay formas obvias en que los estudiantes adquieren preconcepciones:

- a) De la naturaleza, considerando sus observaciones sobre los fenómenos alrededor de ellos, pues a veces los sentidos los "engañan". Los químicos no deben sorprenderse de estas creencias intuitivas de los estudiantes sobre la materia y los cambios que experimenta, pues ellos han creído, por ejemplo, en la teoría del flogisto.
- b) Del lenguaje, porque las palabras son utilizadas de forma diferente en el uso diario que en el científico, por ejemplo en productos comerciales. Para los alumnos el significado de las palabras, cuando por primera vez las usan en el contexto científico, es la suma de todas las conexiones en otras situaciones de su vida en las que estas palabras han sido usadas. Numerosas palabras tienen diversos significados: la palabra "elemento" tiene un significado interno en ciencias establecido dentro de ciertas reglas y otro significado, externo a la ciencia, que proviene de la forma en que la palabra es usada en el contexto diario. Así, maestros y alumnos usan muchas palabras tanto en la forma científica formal como en el sentido cotidiano. Esto puede explicar por qué, cuando los alumnos están aprendiendo nuevas ideas científicas, concepciones anteriores asociadas con las palabras permanecen en forma dominante o importante durante largo tiempo (Veiga, M.L., 1989).

Cuando los libros de texto de ciencias no son cuidadosamente escritos, pueden contener supuestos como "las moléculas se expanden al calentarse"; este uso inadecuado no confunde a los estudiantes novatos, sino que lo usan en forma impropia. Se ha comprobado que la falta de coherencia entre las estructuras cognitivas del estudiante y el vocabulario empleado en la enseñanza, da lugar a problemas en el contexto del aprendizaje de las Ciencias Naturales, induciendo la formación de errores en la conceptualización científica (Santelices, C.L., 1990).

- c) De la instrucción formal, cuando los conceptos se presentan en el salón de clases o en el libro de texto, a un nivel de desarrollo intelectual superior al del estudiante o en forma confusa o errónea.

El análisis de las preconcepciones de los alumnos es actualmente uno de los más importantes problemas en el campo de la educación en ciencias. En comparación con la Física y las ciencias de la vida, la Química ha recibido menos atención, particularmente en niveles elementales (Bargellini, A. y Riani, P., 1991). Sin embargo, hay reportes sobre reacciones químicas, equilibrio químico, mol, naturaleza corpuscular de la materia; pero son prácticamente inexistentes los relacionados con la materia viva y su composición.

La mayoría de los estudios que se han elaborado sobre preconcepciones en Química son relativamente recientes, a partir de la década de los 1980.



Se sabe que los alumnos construyen el conocimiento científico a partir de sus ideas previas y que la función fundamental de la enseñanza de la ciencia consiste, fundamentalmente, en promover progresivamente un cambio de dichas ideas más acorde con el conocimiento científico actual. Por lo tanto, para promover cualquier cambio es necesario conocer las ideas previas de los alumnos. Si los alumnos no construyen significados adecuados de los conceptos básicos, no entenderán aquellos más avanzados que se construyen a partir de los fundamentales (Nakhleh, M.B., 1992; Barroso, F., et al., 1993).

Una amplia revisión bibliográfica confirma que las ideas previas de los alumnos frecuentemente no evolucionan a lo largo de los distintos niveles de enseñanza. Se han detectado en los alumnos errores conceptuales de considerable importancia relativos a aspectos básicos de Química, siendo frecuentemente los maestros y los libros de texto, agentes de su propagación y persistencia (Barroso, F., et al., 1993).

Para la mayoría de los estudiantes aprender conceptos químicos significa memorizar (nombres de sustancias, fórmulas, definiciones de oxidación y reducción, formas de orbitales, etc.) y no objetan hacerlo porque eso han hecho desde la escuela elemental. Los estudiantes ven a la Química muy abstracta, muy difícil y no relacionada con la vida real. Para ellos, la Química consiste en una gran cantidad de material aparentemente no relacionado, irrelevante e inútil, que tienen que memorizar más que entender, pues a los estudiantes en el salón de clases usualmente se les da poco tiempo para discutir sus ideas; ellos crean explicaciones que intelectualmente los satisfacen, pero que no corresponden a la realidad.

Los estudiantes consideran frecuentemente que Química fue su peor materia en secundaria y bachillerato o que fue la más difícil de todas las materias que cursaron. Una causa de lo anterior es que a los estudiantes se les dificulta la conexión entre el mundo macroscópico que observan y el mundo microscópico de los átomos y moléculas que se requiere para dar explicaciones en el campo de esta ciencia. Si los estudiantes no hacen esta conexión, fallan en percibir la relevancia e importancia de la Química en el mundo real. Una comprensión de esta conexión es probablemente el aspecto más importante que un estudiante puede obtener de un curso introductorio sobre conceptos químicos (Gillespie, R.J., 1997; Haidar, A.H. y Abraham, M.R., 1991; Krnel, D., et al., 1998).

Investigadores en educación química establecen que los principales impedimentos en el aprendizaje de la Química son: a) Insuficiente comprensión de los conceptos abstractos involucrados, b) Memorización excesiva; c) Incapacidad para transferir comprensión entre los niveles macroscópicos y atómico/molecular (Staver, J.R. y Lumpe, A.T., 1993).

La mayoría de los alumnos en la escuela elemental están en lo que Piaget llama "la etapa operacional concreta del desarrollo", esto implica que el estudiante necesita trabajar con objetos concretos más que aprender sobre modelos y teorías (Gabel, D.L., 1989). La introducción a la Química en la escuela elemental presenta dificultades debido a la naturaleza altamente formal abstracta de esta área científica, por lo cual a este nivel escolar deben disminuirse, en lo posible, aspectos muy formales.

Aunque no es exclusivo de esta etapa, se ha sugerido que los estudiantes en la etapa concreta tienen gran dificultad para distinguir entre un concepto científicamente aceptable y un preconcepto, porque el razonamiento necesario para evaluar la validez o no de un concepto es esencialmente una operación formal. De hecho, el estudiante puede adquirir dos conceptos en competencia sin que vea contradicción entre ellos; podría basar la selección de cuál concepto usar en el contexto de una situación particular (Abraham, M.R., 1992).

Cuando se dice que un estudiante ha aprendido Química, generalmente se asume que el estudiante ha adquirido una comprensión de sus conceptos y las relaciones entre ellos. Sin embargo, hay evidencia que muestra que el aprendizaje de la Química por los estudiantes de bachillerato carece de esas características y usualmente falla en tareas de aplicación de esos conceptos (Ben-Zvi, Eylon y Silberstein, 1986).

Si los conceptos no están claramente definidos, explicados y relacionados en los libros de texto, los libros pueden contribuir a incomprendiones conceptuales demostradas por estudiantes de Biología, y en general de ciencias, en secundaria. Los estudiantes pueden entender conceptos, pero no relacionarlos entre sí, evitando el desarrollo de conceptos más elaborados (Nakhleh, M.B., 1992); o bien, en ocasiones los estudiantes con una deficiente comprensión de determinados conceptos básicos, se confunden cuando consultan más de un libro, porque las definiciones de términos varían de un texto a otro. Estas inconsistencias pueden crear lo que Novak en 1977 denominó "Disonancia Cognitiva", es decir, si un concepto tiene dos significados que aparentan contradicción, el estudiante experimenta una respuesta emocional negativa o disonancia. Entonces, los significados del concepto deben ser comparados y contrastados para lograr una reconciliación integral.

Dado que, como ya se mencionó en el capítulo anterior, los libros de texto son el currículum para la mayoría de los cursos de ciencias, son una de las principales fuentes de información y quizás de preconceptos. Por lo tanto, una investigación sobre la identificación de problemas conceptuales en los libros de texto puede sugerir fuentes de preconcepciones para los estudiantes. La identificación de tales fuentes puede ayudar a los autores a elaborar materiales didácticos más apropiados (Cho, H.H., 1985; Pozo, L.A., y Llorens, M., J.A., 1993) y a los maestros a seleccionar y utilizar los libros de texto que piden a sus alumnos. Esta consideración es importante pues en esencia aprender a partir de información textual involucra extraer información desde el libro de texto e integrarla al conocimiento existente para generar nuevo conocimiento (Shepardson, D.P. y Pizzini E.L., 1991).

Antes de presentar algunos de los principales preconceptos relacionados con conceptos químicos básicos, que se encontraron durante la revisión de los artículos consultados, es importante mencionar que es difícil sistematizar y homogeneizar los preconceptos, pues en los artículos se reporta una amplia variedad de: a) Muestras de estudiantes, b) Metodologías empleadas (entrevistas clínicas, cuestionarios escritos, prácticas de laboratorio, etc.), c) Contenidos (visión continua o discontinua de la materia, gases, cambios de estado, soluciones, etc.); d) Criterios de análisis de las respuestas.

### 2.1.1 MATERIA

La naturaleza y estructura de la materia es un tema central tanto científica como culturalmente y por ello se incluye como área de estudio en la mayoría de los currícula de ciencias de la escuela desde el nivel elemental hasta el medio superior (Jones, B.L. y Lynch, P.P., 1989. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes no comprenden la palabra materia y tienen gran dificultad para entender su constitución corpuscular (Lee, O., et al., 1993).

Para entender y explicar diversos fenómenos naturales, los estudiantes necesitan desarrollar cierta comprensión básica de la materia. La definición convencional de los libros de texto de que “materia es todo lo que tiene peso (o masa) y ocupa un lugar en el espacio”, en ocasiones es de poca ayuda para la mayoría de los estudiantes. Muchos piensan, por ejemplo, que los gases no tienen peso; otros creen que formas de energía como el calor son materia pues ocupan un espacio, así llegan a nombrar “moléculas de calor” (Lee, O., et al., 1993); algunos consideran que la luz no es materia porque no ocupa un lugar en el espacio.

El conocimiento adecuado de la estructura de la materia es de gran importancia para la correcta comprensión de diversos fenómenos físicos, químicos y bioquímicos como: disolución; reacciones químicas; enlace químico; estados de la materia y cambios de estado; efectos de la presión, volumen y temperatura sobre los gases; equilibrio químico; nutrición; respiración (Nakhleh, M.B., 1992; Mondelo A.,M., y otros, 1994).

Aunque un considerable número de alumnos concibe la composición atómica de la materia inerte, tal creencia no la extrapolan fácilmente a la materia viva, incluso tal constitución es más asumida en el caso de vegetales que de animales (Mondelo A.,M., 1994).

Un grupo de investigadores en educación en Química de la Universidad de Pisa, Italia, considera que el curriculum para estudiantes de 6-11 años de edad debe orientarse a las propiedades de la materia, quizás sólo haciendo referencia a pocos conceptos fundamentales que sean importantes como prerrequisito para un posterior desarrollo en los alumnos de su conocimiento en Química (Bargellini, A. y Riani, P., 1991).

Aunque los estudiantes generalmente son introducidos al modelo corpuscular de la materia en la secundaria y posteriormente en el bachillerato, muchos alumnos de distintas edades y diversos niveles escolares tienen una visión de la materia como un medio continuo, estático y sin huecos. La mayoría de las preconcepciones identificadas muestran la incompreensión sobre el modelo científicamente aceptado de que la materia está constituida de partículas discretas que están en constante movimiento y que tienen espacio vacío entre ellas (Nakhleh, M.B., 1992; Barroso, F., et al., 1993; Novick y Nussbaum, 1978,1981; Mortimer, E.F., 1998). Esta visión de los alumnos seguramente es dictada por sus sentidos en concordancia con el aspecto macroscópico que presenta la materia, y es más cómoda de entender que la actualmente aceptada naturaleza corpuscular o discontinua de la materia, la cual requiere un pensamiento más abstracto (De Posada, A., J.M., 1993; Griffiths, A.K. y

Preston, K.R., 1992; Ben-Zvi; Eylon y Silberstein, 1982); además, no es fácil admitir que en un trozo de hierro los átomos que lo componen se están moviendo o imaginarse el movimiento de las moléculas de oxígeno en el interior de una habitación en calma (Hierrezuelo M., J., 1989). Para los estudiantes es difícil comprender la idea de "nada" entre las partículas, así los estudiantes llenan el espacio vacío con partículas de aire, contaminación, polvo, gérmenes, etc.

Estudiantes españoles admitieron con relativa facilidad (85%) que los objetos sólidos están formados por materia; sin embargo, esta creencia fue menor en el caso de líquidos y gases, es decir, hay diferencias que dependen del estado físico de la materia. El que los estudiantes reconozcan sin mayor dificultad la materialidad de los sólidos podría deberse a que éstos poseen características físicas fácilmente observables (volumen, masa, peso,...), además el lenguaje cotidiano tiende a asociar los términos materia-cuerpo sólido. Sin embargo, la materialidad de un gas no resulta tan evidente, pues es frecuente que su masa, peso y volumen ni siquiera se consideren (Mondelo A., M., 1994).

Lo anterior también es reportado por Shepherd y Renner, quienes examinaron las percepciones de los estudiantes sobre los estados de la materia a nivel microscópico, encontrando que ninguno de los estudiantes de bachillerato en su muestra tenía una sólida comprensión de la naturaleza de partícula de gases, líquidos y sólidos, y sólo el 43% la tenía parcial (de Shepherd, D.L. y Renner, J.W., 1982; en Gabel, D.L. y Samuel, K.V., 1987). Esta carencia de comprensión la observaron Novick, S. y Nussbaum, J., en 1978 y 1981, quienes encontraron que aunque esta preconcepción disminuye con la escolaridad, aún persiste en estudiantes de universidad en Israel, la idea de materia como un medio continuo, más que como una agregación de partículas: aunque la creencia de la materia continua domina en líquidos y gases, incluso es encontrada en respuestas de los alumnos relacionadas a la materia sólida y en gases; esta creencia decrece con la edad: 74 % entre 11-12 años, 46 % entre 13-14 años y 12 % en estudiantes universitarios de Química. Sanz, A. (1993) reporta el mismo hallazgo, expresando que en España el uso espontáneo del modelo corpuscular, incluso entre estudiantes de Química, no alcanza el 50% y que alumnos de diferentes niveles, incluyendo el universitario, poseen en mayor medida representaciones de tipo continuo en tareas sobre cambios de estado; en cambio recurren en mayor medida a interpretaciones de tipo discontinuo al referirse a disolución, reacciones químicas y dilatación.

Muchos estudiantes están confundidos con relación a la conservación de la materia durante la evaporación y ebullición, pues como al evaporarse una sustancia se vuelve "invisible", algunos estudiantes piensan que la sustancia desaparece y cesa de existir (Lee, O., et al., 1993).

En un estudio con alumnos griegos de 8 a 15 años, en sus representaciones de fenómenos químicos y físicos emplearon criterios macroscópicos como cambio de forma, destrucción o desaparición de materia, número de sustancias que intervienen en el fenómeno, etc.; no hicieron referencia espontánea a criterios involucrando aspectos microscópicos de la materia como átomos, moléculas, etc. (Stavridou, H. y Solomonidou,

C., 1989). Muy pocos estudiantes españoles de 11 a 14 años utilizaron los términos átomo y molécula en un estudio sobre soluciones, a pesar de haber recibido alguna instrucción básica sobre la estructura de la materia (Prieto, T., et al., 1989).

El uso ambiguo e incorrecto de conceptos químicos básicos relacionados con la naturaleza y estructura de la materia, como partículas elementales, átomo, elemento, molécula, compuesto y mezcla en los libros de texto, puede provocar serias dificultades en el aprendizaje de la Química y la Biología, y en general, de las ciencias.

## 2.1.2 PARTICULAS

En relación a naturaleza y estructura de la materia, el término "partícula" es comúnmente empleado por los estudiantes e incluso por los profesores; sin embargo, con suma frecuencia lo utilizan en forma ambigua, no siendo claro si se refieren a unidades macroscópicas o microscópicas ( Abraham, M. R., et al, 1992; De Posada, A., J. M., 1993; Cros, D., et al, 1988; Krnel, D., et al, 1998), en ocasiones se usa en lugar de átomos o moléculas.

Novick y Nussbaum (1981) expresan la frecuente dificultad de los maestros sobre cómo conciliar las ideas científicas sobre "partículas" (por ejemplo, que un gas está compuesto de partículas invisibles finísimas) con las percepciones de los alumnos. Como ya se mencionó, parte del problema puede ser los significados informales de las palabras (como partícula, elemento, sustancia, etc.) que desarrollan los alumnos por sus experiencias diarias, y que les crean conflicto cuando esas palabras se usan en el contexto científico (Maskill, R., 1997; Pozo, J.I. et al, 1991).

De Posada al elaborar una red semántica de las frases de alumnos españoles de 15 a 18 años sobre la estructura interna del cloruro de sodio sólido, indica que a nivel macroscópico según los alumnos sus constituyentes son piedrecitas, trozos, conglomerados o partículas, y a nivel microscópico son partículas (átomos) de sal, átomos, moléculas, iones; los estudiantes de menor edad mencionaron más el término partícula de sal, los mayores nombraban átomos. Para algunos estudiantes el mundo microscópico es como el macroscópico pero de tamaño reducido (De Posada A., J.M., 1993; Krnel, D., et al., 1998; Mortimer, E.F., 1998). Aunque esta creencia disminuye con el nivel de instrucción, no llega a desaparecer del todo, incluso en estudiantes con mayor número de cursos tomados. De Posada menciona que la incorporación de ideas a nivel macroscópico para explicar el mundo atómico por parte de los alumnos puede interpretarse como un intento de éstos por buscar conexiones con sus esquemas conceptuales, con la intención de establecer un puente entre dos mundos distintos.

Krnel (1998) indica que aun entre estudiantes universitarios (9%), las partículas son consideradas como pequeñas piezas de una sustancia sólida, y no como partículas de tamaño atómico o molecular; y que explican las reacciones químicas como una mezcla de pequeñas partículas.

Dibujos de algunos estudiantes de preparatoria de E.U. muestran diferentes formas de las partículas para diferentes estados de la materia: las de gas son redondeadas, las de líquidos tienen formas irregulares y las de los sólidos son cúbicas (Haidar, A.H. y Abraham, M.R., 1991).

En ocasiones los libros de texto contribuyen a la formación de preconceptos sobre las partículas, así en un libro de Química sueco (Andersson B., 1990) se ilustra un trozo de potasio en un matraz con cloro gaseoso:

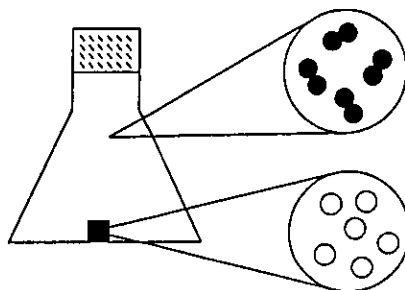


Fig.1 Ilustraciones en un libro de texto con cuestionables distancias entre las partículas.

En esta figura la distancia entre las partículas es la misma para el cloro en el estado gaseoso que para el potasio en el estado sólido.

En explicaciones de las partículas que componen a la materia, los estudiantes atribuyen las propiedades de los objetos a las partículas, sólo que a escala más pequeña: las partículas se estrechan, expanden, funden, incluso tienen calor (Haidar, A.H. y Abraham, M.R., 1991); Ben-Zvi, R., et al, 1986).

En un estudio (Maskill, R., 1997) sobre la naturaleza microscópica de la materia, alumnos de 11 y 12 años de Grecia, Portugal y Gran Bretaña, relacionaron el término partícula con molécula, átomo, electrón, pequeña, invisible, célula y polvo.

Novik y Nussbaum (1978) encontraron en un estudio que el 70% de alumnos israelíes de secundaria tenían la idea de que un gas está compuesto de partículas y en otro estudio (de 1981) con alumnos de escuela elemental, secundaria, preparatoria y universidad, encontraron que sólo entre el 30 y 40 % de ellos consideraron que las partículas de un gas están distribuidas uniformemente en un sistema cerrado. En los resultados se distinguen dos tipos de ideas previas: “las partículas se concentran en la parte inferior del recipiente” y “las partículas se concentran en la parte superior del recipiente”. Estas ideas predominan (41%) entre los estudiante más pequeños (10-11 años) y van disminuyendo en secundaria (29%) y en preparatoria y universidad (aproximadamente 10%). Ambas ideas indican una visión que descarta el movimiento continuo de las partículas para obtener una distribución uniforme.

Pozo, J.I. y otros (1991) consideran que los principales preconceptos de los alumnos sobre las partículas son:

- 1) Consideran que no hay vacío entre las partículas (hay aire, agua, polvo, gérmenes, etc.).

- 2) Opinan que las partículas no están en continuo movimiento (para algunos cuando un objeto se enfría, las partículas no se mueven; para otros, las partículas en los sólidos están en reposo).
- 3) Les atribuyen propiedades macroscópicas (las partículas se hinchan, se derriten, etc.) y las hacen dependientes del objeto del que forman parte (si aumenta el volumen del objeto es que aumenta el volumen de cada partícula).
- 4) Piensan que las partículas no pesan (esta idea se ha identificado principalmente en relación a gases: para muchos estudiantes el aire no pesa, por lo tanto, las partículas de gases no pesan).
- 5) Les atribuyen características animistas (las partículas pueden pelearse).
- 6) No interpretan las reacciones químicas como interacción de las partículas de los reactivos.



### 2.1.3 ÁTOMOS Y MOLECULAS

La comprensión de los conceptos átomo y molécula es fundamental para aprender Química. Cualquier preconcepción de los estudiantes impedirá su posterior aprendizaje significativo en cuanto a temas como enlace químico, reacciones químicas, iones, estados de la materia y procesos biológicos relacionados con la fisiología celular. Para explicar un cambio químico, los estudiantes deben entender una variedad de hechos acerca de las propiedades químicas de las sustancias involucradas, así como algunas teorías químicas básicas, la más importante de las cuales es la teoría atómica molecular (Abraham, M.R., 1992; Andersson, B., 1990; Griffiths, A.K., 1992; Hesse, J.J., 1992).

En un estudio (De Posada A., 1993) con alumnos españoles de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia, se detectó que para muchos de ellos la expresión “a nivel atómico” significa tamaño extremadamente pequeño y no necesariamente algo relacionado con átomos y moléculas. Incluso algunos de ellos mencionaron “... átomos que casi no se verían, como casi transparentes ...”, o bien, “Yo vería todos los enlaces de los átomos”.

Al preguntarles (Andersson, B., 1990) a estudiantes suecos de 12-16 años, sobre si eran materiales o inmateriales 30 conceptos listados, más del 70 % expresaron que objetos sólidos, alimentos y organismos son materia. Pero sólo entre el 40 y el 50 % consideraron que átomos y moléculas son materia; algunos explicaron: tú puedes tocar y pesar la materia, como no puedes hacerlo con átomos y moléculas, no pueden ser materia.

Pfund (1981) sorpresivamente observó que sus alumnos concibieron al átomo como el eslabón final en un proceso de división, no como el bloque primario de construcción que existe en la materia. Como la división es algo arbitraria, los alumnos creen que los átomos pueden variar en forma, así pueden ser cuadrados o rectangulares (Pfund, 1981; en Andersson, B., 1990).

El análisis de los libros de texto muestra que muchos conceptos químicos son enseñados en diferentes grados escolares en variados niveles de sofisticación, sin embargo, los estudiantes tienden a no usar los modelos atómico y molecular cuando explican fenómenos químicos (Abraham, M.R., et al., 1992).

En un estudio con alumnos de secundaria, preparatoria y universidad en Estados Unidos, se encontró que en relación a cinco conceptos químicos, el uso de los términos átomos, iones y moléculas, se incrementó a través de los grados de escolaridad, siendo sorprendentemente bajo aun entre estudiantes universitarios, como se expone en la siguiente tabla (Abraham, M.R., et al., 1994):

<u>CONCEPTO</u>	<u>SECUNDARIA</u>	<u>BACHILLERATO</u>	<u>UNIVERSIDAD</u>
Cambio químico	-----	-----	-----
Disolución de un Sólido	13%	30%	46%
Conservación de Átomos	16%	43%	57%
Periodicidad	0%	6%	6%
Energía en cambio de fase	2%	5%	6%

TABLA 1.- Porcentaje de estudiantes, por grado, que usan los términos átomo y molécula en sus explicaciones.

Generalmente el grupo universitario usó vocabulario más extenso, pero frecuentemente lo usó en forma inadecuada o confusa, indicando que los términos no fueron apropiadamente comprendidos, y en muchos casos, sólo memorizados.

Andersson, B. (1986), en un estudio con alumnos suecos de 12-15 años, encontró que muy pocos de ellos después de su instrucción en Química, usaban los términos átomo y molécula en su razonamiento sobre reacciones químicas.

Por cierto, con respecto a átomos y moléculas, Keig, P.F. (1993) menciona que entre los alumnos frecuentemente se presentan “errores de aplicación o de representación”, por ejemplo, uso del término “átomo” por un estudiante donde se esperaría “molécula”, o viceversa. Hierrezuelo (1989) expresa una conclusión similar.

Existen numerosas razones para explicar los problemas de los alumnos en la comprensión de las características e interrelaciones de átomos y moléculas; una de las más importantes es que los modelos científicos del átomo son abstractos, difíciles y alejados de la experiencia diaria. Ault, Novak y Gowin (1985) expresaron que los libros de texto frecuentemente presentan modelos conflictivos del átomo, que producen confusión entre muchos estudiantes. Una proporción significativa de estudiantes desde la escuela elemental hasta la universidad maneja concepciones alternativas concernientes a los modelos atómico y molecular (Ben-Zvi, 1982; Novick, 1981).

El modelo atómico juega un papel central en el estudio de la Química y usualmente es introducido en el curriculum escolar entre estudiantes de 12-14 años de edad.

Con frecuencia los alumnos, a sugerencia del maestro, hacen modelos con gelatina. Estos modelos concretos, sin embargo, no vuelven concreta para los niños una teoría abstracta, pues el alumno ha de pasar de un modelo continuo perceptible de la materia a otro completamente abstracto e imperceptible, que explique científicamente los fenómenos observables; incluso pueden crear e incrementar otras preconcepciones, tales como errores en la escala del tamaño de las partes constituyentes del átomo.

Mondelo, A. y otros (1994) en un estudio con alumnos españoles de diversos niveles sobre si la materia inerte y la materia viva tenían constitución atómica, reportaron que las referencias al átomo como la unidad más pequeña de todos los sistemas materiales oscilaron entre el 17.6 % para estudiantes de aproximadamente 15 años y el 46.7 % entre los de 20 años. Es importante mencionar que los alumnos se refirieron, aunque en menor proporción, a la célula como la unidad más pequeña de los organismos vivos. Los autores encontraron que para sólidos inertes los porcentajes de respuestas afirmativas fueron superiores en todos los grupos, mientras que para vegetales los porcentajes disminuyeron y aún más en animales, como se muestra en la siguiente figura:

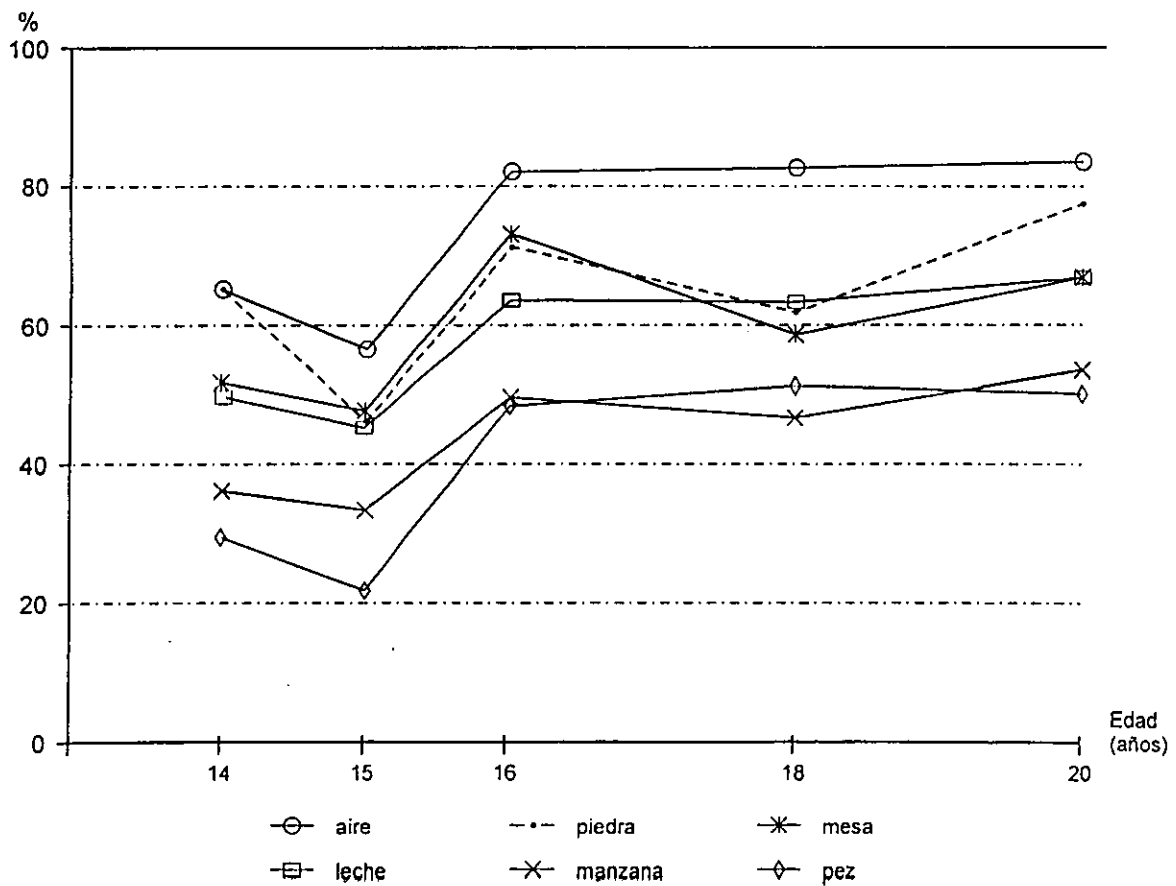


Fig. 2 Porcentaje de alumnos que señalaron al átomo como unidad elemental de diversos materiales.

Los resultados expuestos demuestran que la constitución atómica se reconoce sobre todo en gases y sólidos inertes y en menor medida en los seres vivos, siendo dentro de éstos menos admitida la existencia de átomos en animales que en vegetales. El hecho de que los estudiantes asuman en su mayoría la presencia de átomos en sustancias gaseosas es contradictorio, si se considera la escasa aceptación de su materialidad, pues con cierta frecuencia los alumnos mencionan: “no hay nada, sólo hay aire”. Esto puede deberse a que al introducir el concepto “átomo” se emplean con frecuencia ejemplos de sustancias químicas como oxígeno y nitrógeno, que son componentes del aire. De ahí que la asociación producto químico-átomo sea sencillamente por simple evocación memorística.

Haidar y Abraham (1991) mencionan el término “Razonamiento Macroscópico” al referirse a la traslación de la conducta observable de la materia a la escala de átomos y moléculas; este razonamiento es origen de muchas concepciones alternativas que manejan los estudiantes sobre los sistemas químicos, ejemplo: “Los átomos que forman el azúcar se rompen y dispersan en el agua”. Esto indica que aun cuando los estudiantes usen los términos átomos y moléculas frecuentemente los usan en un contexto macroscópico. Griffiths y Preston (1992), así como Mortimer, E.F. (1998), coinciden con esta conclusión.

En dos estudios con alumnos suecos de 12-15 años, Andersson, B. (1986 y 1990) encontró que algunos de ellos tratan al mundo microscópico como una extrapolación del macroscópico, así proyectan propiedades de las sustancias a átomos y moléculas: Si el fósforo es amarillo, los átomos de fósforo son amarillos; si el agua está caliente, sus moléculas están calientes; las moléculas de una sustancia blanda no pueden estar constituidas de moléculas duras; la madera arde, entonces las moléculas de madera arden; si un objeto consiste de fierro, entonces sus átomos consisten de fierro. Los alumnos no comprenden que los dos mundos difieren cualitativamente y que el concepto de átomo es parte de un modelo inventado para explicar y predecir qué sucede en el mundo macroscópico. Este autor menciona que definiciones en libros de texto como: “Un átomo de fierro es la parte más pequeña del elemento fierro, el cual aún tiene las propiedades de la sustancia” y “El átomo es la parte más pequeña de un elemento que posee las propiedades características del elemento”, frecuentemente son causa de que los alumnos expresen conclusiones como:

- Si el fierro se expande cuando se calienta, los átomos de fierro incluso se expanden.
- Si el fierro puede fundirse, los átomos de fierro también pueden fundirse.

Ben-Zvi y otros (1986) en un estudio con 300 estudiantes de aproximadamente 15 años, al comparar las propiedades de un alambre de cobre y los de un átomo aislado del gas resultante del alambre calentado hasta evaporarse, encontraron que el 46.2 % de los estudiantes no hizo distinción alguna entre las propiedades de la sustancia (del alambre) y las de un átomo aislado, es decir, un átomo de cobre es visto por muchos estudiantes como una pequeña pieza de metal sólido. Los autores dicen que en otro estudio algunos alumnos expresaron que el oro se ve dorado porque tiene átomos dorados y que el agua líquida esta compuesta de moléculas líquidas (Hesse, 1992).

De Posada A. (1993) reporta que la ruptura entre el mundo macroscópico y el atómico no se produce en forma total en muchos alumnos españoles de entre 15 y 18 años:

“Un átomo de NaCl se vería como trozos de cristal”, “En el trozo de cristal veríamos grandes átomos de cristales”.

Alumnos griegos, portugueses e ingleses de 11 y 12 años, en un estudio sobre la naturaleza microscópica de la materia (Maskill R., 1997), frecuentemente relacionaron el término átomo con: pequeño, molécula, bomba, invisible, microscópico, electrón y núcleo; y el término molécula con: pequeña, agua, invisible, partícula, átomo, fina.

El 57 % de estudiantes franceses universitarios (Cros, D., 1998) piensa que las colisiones entre átomos liberan energía: el papel del núcleo en el átomo no es bien entendido (quizás debido a expresiones coloquiales como “guerra atómica”, “bomba atómica” y “planta de energía atómica”).

De un estudio muy interesante de Griffiths y Preston (1992) con 30 estudiantes canadienses de 16-18 años, sobre características fundamentales de átomos y moléculas, destacan las siguientes preconcepciones de los alumnos sobre los átomos:

a) Estructura y forma de los átomos

- Un átomo se asemeja a una esfera sólida (quizás porque en los libros de texto se usan esferas sólidas para representar átomos).
- Un círculo con puntos dentro que representan componentes.
- Existe materia (aire, gases, oxígeno, cargas eléctricas, ...) entre los átomos. Los estudiantes generalmente tienen dificultad al conceptualizar el espacio vacío entre átomos.
- No sugieren que los átomos estén compuestos de otras cosas que protones, neutrones y electrones.

b) Tamaño de los átomos

- Los átomos son lo suficientemente grandes para verse con un microscopio..
- El calor puede producir un cambio en el tamaño del átomo (darle calor a un átomo, lo expande).
- Las colisiones pueden provocar un cambio en el tamaño atómico.

c) Peso de los átomos

- La mayoría sobrestimó su peso: “Tan ligeros como el aire”, “Tan ligeros como una pluma”.
- Todos los átomos tienen el mismo peso

d) Animismo de los átomos

- Los átomos están vivos (porque se mueven)

En el estudio mencionado de Ben – Zvi (1986), cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla, se encontró que numerosos alumnos de aproximadamente 15 años indicaron que los átomos de alambre de cobre antes y después de calentarlo hasta evaporarlo, tienen propiedades diferentes que se observaron macroscópicamente. Así, el 48.1 % de los

estudiantes considera que un átomo de cobre es café en el estado sólido, mientras que sólo el 18.1 % cree que posee ese color en el estado gaseoso.

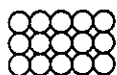
PROPIEDADES DEL ATOMO	COBRE SOLIDO	COBRE GASEOSO
Conduce electricidad	69.7 %	28 %
Color café	48.1 %	18.1 %
Maleable	24.7 %	4.3 %
Compresible	6.9 %	29.8 %
Se expande al calentarse	10.4 %	30 %

Nótese que la 1/3 parte de los estudiantes dijeron que un átomo de un gas puede comprimirse o expandirse.

De Posada (1993) reporta que algunos alumnos españoles de entre 15 y 18 años explican el mayor o menor punto de fusión de las sustancias con base en la fuerza con que se unen sus átomos: mayor fuerza, mayor punto de fusión; menor fuerza, menor punto de fusión. Otros consideran que depende de la diferente forma de estar unidos sus átomos (enlace metálico, iónico, covalente, etc.).

Gabel (1987) al examinar dibujos de estudiantes de preparatoria en su estudio sobre la naturaleza de la materia, reporta que uno de sus errores más comunes fue considerar el agrandamiento de los átomos cuando cambian de líquidos a gases, en lugar de separarse entre sí.

Se han observado los siguientes dibujos de cambios de estado a nivel atómico, entre estudiantes de 12-15 años en Suecia (Andersson, B., 1986):



Sólido



Líquido



Gas

Estos alumnos piensan que un átomo se puede transmutar completamente en un nuevo átomo en una molécula y que esta molécula es más pesada, o bien, que un átomo dado desaparece, se transmuta en nada.

Algunos estudiantes españoles de 16-18 años expresaron que los átomos de los sólidos están quietos, que sólo se mueven los de los gases ( Vázquez A., 1990).

En un estudio francés (Cros, D. y otros, 1988) con alumnos luego de un año de haber ingresado a la universidad, se detectó que el conocimiento del nombre y la naturaleza de los constituyentes del átomo y del núcleo era aceptable y que ellos trabajan con el modelo

de Bohr (mostrando el sistema planetario) y con el modelo de Schrödinger o de los orbitales; esto también lo concluyeron Mondelo (1994) y Zoller (1990); este autor expresó que la mayoría de las explicaciones de fenomenología y leyes químicas las basan los alumnos en el modelo de Bohr.

En relación a los constituyentes del átomo, Griffith (1992) reporta entre algunos estudiantes canadienses la preconcepción de que los protones tienen una masa de un gramo y que el tamaño del átomo está determinado principalmente por el número de protones.

Algunos estudiantes españoles de 15 a 18 años (De Posada, A., 1993) mencionaron a la nube electrónica como elemento constituyente de la estructura interna de un trozo de hierro. Unos representaron la nube electrónica con átomos neutros. Los electrones eran dibujados, por algunos, con puntos; otros con círculos de tamaño variable comparable al de los átomos. La disposición de los electrones fue distinta de un caso a otro: algunos los situaban de forma homogénea entre las partículas, otros en los huecos formados y unos alrededor del conjunto de partículas. Sin embargo, la mayoría de los casos denotan una concepción corpuscular de los electrones.

En un estudio sobre comprensión de estudiantes de preparatoria de Canadá (Griffiths, A.K. y Preston, K.R., 1992) sobre la naturaleza de átomos y moléculas, algunos estudiantes expresaron que los electrones no tienen masa, que son una carga, que se mueven en órbitas.

El 55% de una muestra de estudiantes de bachillerato de E.U. expresó que los electrones están en movimiento, pero unos dijeron que algunos o todos los electrones son estacionarios o están restringidos severamente al moverse (Keig, P.F., 1993).

En el ya mencionado estudio de Maskill con alumnos de 11 y 12 años, la palabra electrón se relacionó con partículas y átomos.

En estudiantes españoles de 16-18 años (Vázquez A., A., 1990) se detectó que algunos de ellos consideraban que el enlace químico requiere la aportación del mismo número de electrones de cada átomo.

En los artículos revisados no se identificó ninguna creencia de los estudiantes relacionada con los neutrones.

De Posada (1993) expresa que la existencia de iones es sólo contemplada por una minoría (33%) de estudiantes españoles de 15 a 18 años cuando se refieren a las unidades que forman los cristales de NaCl.

Gabel (1987) menciona que los estudiantes en general usan fórmulas sin comprender su significado en términos de los átomos y moléculas que representan, así, por ejemplo, sólo alrededor de la mitad de estudiantes de preparatoria de una muestra fue capaz de diferenciar en  $3 \text{ H}_2$  entre



Smith y Metz (1996) mencionan que en un estudio con alumnos de nivel bachillerato y universitario en Estados Unidos, se encontró que los estudiantes asocian a los coeficientes únicamente con el primer átomo en una fórmula química, así  $2 \text{NaCl}$  les indica 2 átomos de sodio unidos a uno solo de cloro; además, para ellos  $\text{BaCl}_2$  indica que el cloro es diatómico. Así, existe confusa interpretación de coeficientes y subíndices en las fórmulas. Vázquez A. (1990) concluyó lo mismo con estudiantes españoles de 16 – 18 años. Incluso, Abraham, M.R. y otros (1994) detectaron confusión sobre qué significaba el término diatómico: ¿dos elementos o dos átomos?

La comprensión de los estudiantes de la naturaleza y estructura de las moléculas es crucial para entender mucho de la naturaleza. La teoría cinética molecular, la cual establece que toda la materia está compuesta de minúsculas partículas llamadas moléculas, que están en constante movimiento, provee una base para entender tanto eventos moleculares invisibles, sostén de los fenómenos naturales, como para explicar aspectos observables de esos fenómenos, tales como ósmosis, y difusión; fotosíntesis; respiración celular; digestión; transpiración; ciclo del agua; etc.

En Estados Unidos al analizarse entre 1983 y 1986 el bajo nivel en ciencias de estudiantes entre 11 y 14 años, se concluyó que podía atribuirse a diversos factores, pero uno de ellos era si temas como la teoría cinética molecular, moléculas polares y otros tópicos encontrados en sus libros, eran demasiado avanzados e inapropiados para alumnos de esa edad; pues cuando se interroga a esos estudiantes sobre esos temas, revelan una elevada incompreensión de lo que se les ha enseñado (Gabel, D.L., 1989). Esto lo habían mencionado Osborne y Cosgrove, 1983 (en Gabel, D.L., 1989) quienes observaron que cuando a 725 alumnos de 17 años en Nueva Zelanda, se les mostró un recipiente transparente conteniendo agua hirviendo y se les preguntó por opción múltiple sobre la naturaleza de las burbujas formadas en el agua, el 40% de ellos opinó que eran de hidrógeno y oxígeno más que de moléculas de agua.

Aunque el objetivo último de la Química yace en su habilidad para explicar fenómenos observables como combustión o la formación de un precipitado mediante la interacción de átomos y moléculas, Hesse y Anderson (1992) mencionan que los estudiantes usualmente no recurren a ello.

Con respecto a los constituyentes de una molécula, el 94 % de estudiantes franceses que, habían ingresado a una universidad, contestaron correctamente que una molécula está constituida de átomos; sobre las interacciones entre los constituyentes de una molécula, la noción de enlace químico dentro de la molécula fue considerable (Cros y otros, 1988).

Barroso y otros (1993) en un estudio encontraron que menos del 10 % de alumnos universitarios españoles razonaban aceptablemente en lo que se refería al tamaño de las moléculas en los distintos estados de agregación, así uno de ellos expresó: “en el hielo, más pequeños .... ya que el estar congelado en un bloque, hace que las moléculas se junten y sean más pequeñas, mientras que, por ejemplo, en el vapor de agua las moléculas están sueltas y son más grandes...”



Niños del 7º grado en Estados Unidos (Ault, C.R., et al., 1984), entrevistados sobre diferencias entre sólidos, líquidos y aire, consideraron :

- a) Que moléculas muy juntas que no se mueven hacen un sólido y que un sólido tiene mas moléculas; que las moléculas en un líquido están más apartadas y pueden moverse y que las moléculas del aire ocupan todo el espacio.
- b) Que el número de moléculas se incrementa de sólido a líquido a aire.
- c) Que las moléculas de aire son más pequeñas que las del hielo.

Estos niños también expresaron que:

- a) Las moléculas están dondequiera;
- b) Todo está hecho de moléculas de diferentes clases (de agua, de aire, etc.); pero algunos mencionaron que no sabían si las células estaban hechas de moléculas.
- c) Las moléculas son parte del aire, van a donde va el aire.
- d) Las moléculas son demasiado pequeñas para verlas, que los objetos eran visibles cuando las moléculas estaban muy juntas. Esta interesante y razonable proposición se basa en lo aprendido sobre el modelo molecular y que está de acuerdo al "sentido común", así, cristales de hielo son visibles, el vapor de agua es invisible. Aquí hay un intento por reconciliar el tamaño de las moléculas con la hipótesis de que la invisibilidad depende del espaciado molecular.

Al igual que en el caso de los átomos, los estudiantes muestran la tendencia a transferir cambios en propiedades macroscópicas a nivel molecular, así sugieren que las partículas pueden volverse frías o calientes, o fundirse. De Vos y Verdonk, 1987 (en Gabel, D.L., 1989) encontraron que estudiantes de 14 - 15 de un curso de Química, a quienes se les había enseñado que en el agua caliente las moléculas se mueven más rápido que en el agua fría, continuaron hablando de moléculas calientes y frías, como si tuvieran temperatura propia. Haidar y Abraham (1991) mencionan que estudiantes de alrededor de 17 años creen que cuando el agua cambia de gas a líquido a sólido, las moléculas decrecen de tamaño; así una propiedad observable de la materia se aplica como una propiedad de las moléculas.

Las moléculas de hielo son consideradas más pesadas que las de agua líquida y éstas que las de vapor de agua, por el 50 % de estudiantes de 17 años observados por Mortimer en 1993 (en Krnel y otros, 1998).

Andersson B. (1990) expresa que algunos alumnos piensan aditivamente más que interactivamente sobre la formación de moléculas, debido a que una técnica común en los libros de texto para representar una reacción química es usar círculos de diferentes colores o con diferentes dibujos. La desventaja es que puede comunicar una concepción aditiva. El alumno obtiene una impresión visual de que la molécula de monóxido de carbono es un átomo de oxígeno y uno de carbono unidos, más que una nueva partícula con otras propiedades que aquéllas de ambos átomos por separado:

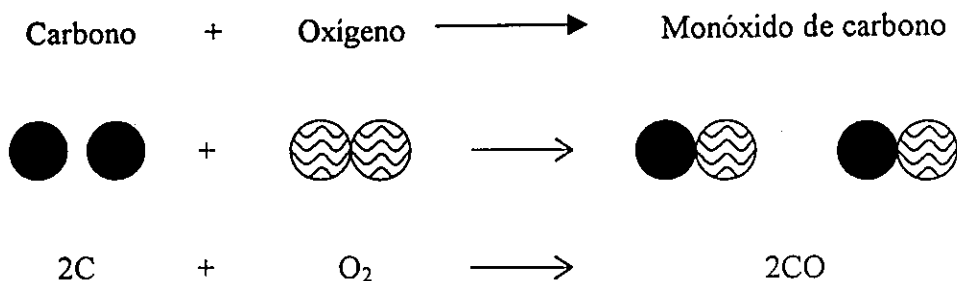


Fig. 3 Forma frecuente de simbolizar una reacción química

En libros de texto es común ver figuras como la siguiente:

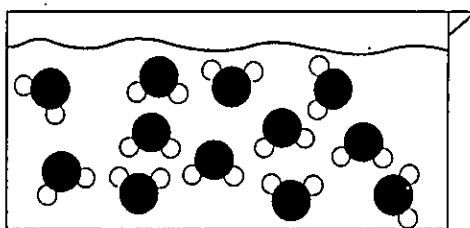


Fig. 4 Moléculas en un líquido.

donde vemos moléculas de agua flotando en agua. Los estudiantes piensan que tanto el agua corriente como las moléculas de agua están presentes en el recipiente (Andersson, B., 1990).

En un estudio (de Peterson y otros, 1986; en Treagust, D.F. 1988) con 325 estudiantes australianos de bachillerato y de primer año de Química en nivel universitario, se encontró que aunque la mayoría de los estudiantes conocían la relación entre la intensidad de las fuerzas intermoleculares y los puntos de fusión y ebullición de una sustancia, sólo alrededor de la quinta parte comprendían correctamente por qué existe esta relación. Alrededor del 60 % la relacionaron erróneamente con la intensidad de los enlaces intramoleculares. La principal concepción de los alumnos se refiere a que “las fuerzas intermoleculares son las fuerzas dentro de una molécula”. Otro preconcepto frecuente: “los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de estado”, refleja que los estudiantes no entienden la naturaleza de las fuerzas intermoleculares comparadas con las fuerzas dentro de una molécula.

Del ya mencionado estudio de Griffiths y Preston (1992) con alumnos canadienses de 16-18 años, destacan las siguientes concepciones sobre las moléculas de agua:

a) Estructura de las moléculas

- Una molécula de agua es esférica con partículas esparcidas (de cloro, oxígeno, hidrógeno) en todas partes.

- Una molécula de agua se asemeja a una figura cerrada sin forma definida.
- Las moléculas de agua están compuestas de dos o más esferas sólidas.

#### b) Composición de las moléculas

- Las moléculas de agua contienen otros componentes (como aire, cloro, nitrógeno, minerales) además de oxígeno e hidrógeno, pues contienen impurezas.
- Las moléculas de agua contienen diferente número de átomos, pues su composición depende del tamaño, temperatura o fase de las moléculas.

#### c) Tamaño de las moléculas

- Una molécula de agua es “macro” en tamaño (tan grande como un germen, un punto de un lápiz, una pizca de polvo). Esto puede deberse a que los estudiantes manejan modelos concretos de moléculas sin la adecuada referencia de escala.
- Las moléculas de agua en un mismo estado físico pueden tener diferentes tamaños.
- El tamaño de una molécula de agua depende de su temperatura y de su estado físico: en estado sólido (hielo) son más grandes (porque cuando el agua se congela, se expande); en estado líquido son más pequeñas (porque el frío hace que se contraigan); en estado gaseoso (vapor) son más grandes (porque el calor hace que se expandan); en estado gaseoso son más pequeñas (porque se evaporan).

#### d) Forma de las moléculas

- La temperatura, la presión, y la forma del recipiente pueden afectar la forma de la molécula del agua (porque los líquidos toman la forma del recipiente que los contiene, así en un hielo son cuadradas porque es la forma de un cubo de éste).
- Las moléculas de agua son planas.
- Las moléculas de agua tienen diferentes formas dependiendo del estado físico en que están.
- Las moléculas de agua en un mismo estado físico pueden tener diferentes formas.

#### e) Peso de las moléculas

- Una molécula de agua es bastante pesada pudiéndose pesar físicamente (se sobrestimó su peso: “como la pata de una mariposa”, “ligera como una pizca de polvo”).
- Las moléculas de agua pueden pesar diferente en un mismo estado físico (porque las moléculas pueden tener diferente cantidad de impurezas).
- Las moléculas del agua sólida pesan más (porque el hielo es más denso) y las del vapor son más ligeras (porque se elevan).
- El tamaño de una molécula de agua afecta su peso.

#### f) Enlace de las moléculas

- Las moléculas de agua en hielo se tocan unas con otras continuamente no dejando espacio entre ellas.
- Las moléculas de agua están juntas por algo externo (como fuerza de gravedad o presión del aire) a las moléculas.
- El calor causa que las moléculas se expandan aumentando su separación al fundirse.

Lee y otros (1993) efectuaron un estudio en Estados Unidos sobre creencias de alumnos de enseñanza media, relacionadas con las moléculas, destacando las siguientes:

a) Naturaleza de la materia.- La teoría cinética molecular es una teoría sobre la materia y las moléculas de las cuales está compuesta. Para entender y explicar fenómenos naturales usando esta teoría, los estudiantes necesitan desarrollar cierta comprensión básica de la naturaleza y estructura de la materia

- Muchos estudiantes creen que las moléculas están en las sustancias más que las sustancias están compuestas de moléculas.
- Los estudiantes incluso creen que hay algo entre las moléculas (algo opuesto a la concepción científica de que hay espacio vacío entre las moléculas). Algunos estudiantes piensan que entre las moléculas de una sustancia, la misma sustancia existe. Por ejm: Hay aire entre las moléculas de aire, agua entre las moléculas de agua, roca entre las moléculas de roca.
- Aunque los estudiantes usualmente piensan que las moléculas son pequeñas, es difícil para ellos concebir qué tan pequeñas son realmente. Muchos piensan que su tamaño es comparable al de otros objetos diminutos que les son familiares, tales como partículas de polvo, bacterias o células. Los estudiantes creen que ellos pueden ver moléculas con microscopios o lentes amplificadores.
- Muchos estudiantes tienen dificultad para comprender que las moléculas están constantemente en movimiento. Algunos estudiantes piensan que las moléculas están a veces en reposo, especialmente en sólidos donde ningún movimiento de la sustancia es visible: "Las moléculas no se mueven en la roca, porque es sólida". Otros piensan que las moléculas empiezan a moverse cuando se aplican fuerzas externas: "Las moléculas en el aire se mueven, porque el viento las empuja".

b) Estados de la materia.- A nivel molecular, los tres estados de la materia pueden explicarse en términos de diferentes arreglos y movimientos de moléculas. En los sólidos están localizadas en un patrón rígido y vibran en un lugar, no se mueven. En los líquidos las moléculas se desplazan y chocan unas contra otras. En los gases, las moléculas se mueven libremente con más espacio entre ellas que en los líquidos y sólidos.

- Muchos estudiantes atribuyeron propiedades observables a las moléculas mismas: Las moléculas son duras en los sólidos; las moléculas están heladas en el hielo y deben estar más frías que en el agua.

c) Expansión térmica.- Cuando una sustancia se calienta, las moléculas de las sustancias se mueven más rápido y se separan, lo cual provoca que la sustancia se expanda. En contraste, cuando una sustancia se enfría, las moléculas se mueven más lentamente, se juntan, así la sustancia se contrae.

- Muchos estudiantes confunden propiedades observables de las sustancias con propiedades de las moléculas: Las moléculas en sí mismas son cambiadas por el calor (las moléculas se calientan; se expanden).

d) Disolución.- Los estudiantes deben entender que el soluto aún está presente en la solución (disolverse no es sinónimo de desaparecer), que se "rompe" en piezas sumamente

pequeñas para verse.

- Algunos estudiantes no comprenden la conservación de la materia durante la disolución. Algunos piensan que “el azúcar se evapora del agua, que desaparece”. Que las moléculas mismas se disuelven.

e) Cambios de estado. Explicar los cambios de estado a nivel molecular requiere de integración de un conjunto de complicadas ideas científicas sobre el movimiento y arreglo de las moléculas. Por ejemplo, cuando el hielo se calienta las moléculas se mueven más rápido, se rompe su rígido arreglo, y empiezan a moverse más libremente que en el sólido. Estos cambios en el movimiento y arreglo de las moléculas causan que el hielo (sólido) se vuelva agua (líquido).

- Algunos estudiantes piensan que durante la evaporación la sustancia desaparece y cesa de existir.

## 2.1.4 ELEMENTOS, COMPUESTOS Y MEZCLAS

Los términos elemento, compuesto y mezcla usualmente provocan serias dificultades en el aprendizaje de la Química y la Biología y en general de las ciencias, por la ambigüedad con que se emplean en los libros de texto y, en ocasiones, por los maestros. Con relativa frecuencia son utilizados como sinónimos entre sí, o incluso con los términos “sustancias” y “material” que no son fácilmente conceptualizados por los alumnos.

Pozo (1991) menciona que entre los alumnos, el concepto de elemento parece ser más fácil de adquirir que los de compuesto y mezcla.

Para la mayoría de los estudiantes, un elemento es una sustancia pura consistente en una sola clase de átomos, que no puede ser separada químicamente en dos o más sustancias. Esto se debe a que en la mayoría de los libros de texto se encuentra esa definición (Roundy, W., 1989).

Con respecto a lo anterior, Pozo y otros (1991) mencionan que aunque los estudiantes comúnmente identifican el término elemento con sustancia pura, los alumnos atribuyen al adjetivo “puro” un significado cotidiano o familiar relacionándolo con la idea de calidad, limpieza o de lo saludable o natural, o bien carente de alteraciones o de contaminación en un producto. Similarmente, Holding señala que adolescentes ingleses de 15 años consideran a un elemento como algo simple, como algo puro y como algo único que hace referencia a la unidad, incluso parecen existir ciertos ejemplares prototípicos que un porcentaje considerable de alumnos identifica con el concepto de elemento, tales como el agua, dado que se llega a mencionar: “El agua es el elemento esencial para los seres vivos”.

La asociación átomo-elemento es bastante amplia provocando que el alumno clasifique a los elementos poliatómicos como compuestos y no como elementos.

Alonso y otros (1994) reportan que un elevado porcentaje de alumnos tiene dificultades para comprender la presencia de algunos elementos químicos tanto en la materia viva como en la inerte, es decir, consideran que los elementos químicos constitutivos de la materia viva son diferentes a los de la materia inerte.

En un estudio de Maskill, R., 1997, se menciona que alumnos de 11 y 12 años de Grecia, Portugal y Gran Bretaña, relacionaron el término “elemento” con químico, sustancia, molécula, líquido, bloque, átomo, agua, pequeño, persona, objeto.

La noción intuitiva de que el átomo es una pequeña pieza de materia puede impedir a los estudiantes que comprendan la naturaleza de la Química. Así, los estudiantes pueden considerar a un compuesto como una conglomeración de átomos. Esto puede acentuar problemas para explicar propiedades fenomenológicas tales como las diferencias entre mezclas y compuestos y la concepción de reacciones químicas. (Ben-Zvi, R., 1986). Entre los profesores de secundaria es bien conocida la confusión que suele existir en los

estudiantes acerca de compuesto químico y mezcla de sustancias, pues identifican una combinación química con la mezcla de elementos o sustancias simples que la constituyen.

En ocasiones los profesores provocan confusión en los alumnos, pues por ejemplo cuando el maestro expresa que el agua consiste de hidrógeno y oxígeno, está pensando en la molécula de agua, la cual consiste de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno; pero los alumnos pueden interpretar esto como que el agua es una mezcla de las sustancias hidrógeno y oxígeno. Macroscópicamente es incorrecto decir que el agua consiste de hidrógeno y oxígeno; el agua es agua, y no otra cosa con sus propias propiedades, no las del hidrógeno y del oxígeno juntas (Andersson, B., 1990).

Estudiantes griegos, portugueses e ingleses de 11 y 12 años de edad, relacionaron por importancia el término “compuesto” con químico, molécula, átomo, líquido, sustancia, agua, célula.

Pozo (1991) menciona que con respecto a compuesto. Las principales concepciones alternativas identificadas son:

- a) Asociar el concepto de molécula exclusivamente al de compuesto, por identificar “compuesto” con algo formado por otras unidades.
- b) No considerar que los compuestos químicos tienen composición fija, indicando que para algunos estudiantes, la composición de los compuestos varía de la misma forma que la de las mezclas.
- c) Utilizar como equivalente los siguientes pares de conceptos:
  - Compuesto y mezcla. Posiblemente debido a la frecuente definición de compuesto como una sustancia constituida por átomos de distintas clases, definición que no establece diferencia alguna entre compuestos y mezclas.
  - Compuesto y mezcla homogénea (soluciones). Para los alumnos es difícil distinguir entre estos conceptos, pues las diferencias entre ambos no son perceptibles macroscópicamente, sólo lo son a nivel microscópico. En el caso de las mezclas heterogéneas, los alumnos pueden distinguir sustancias diferentes que pertenecen a fases distintas, sin embargo, en las soluciones no ocurre así.

Haidar y Abraham (1991) en una investigación en Estados Unidos con 183 estudiantes de Química de alrededor de 17 años de edad, encontraron que algunos estudiantes consideran a una solución azucarada como un proceso de mezclado macroscópico, sin considerar que las moléculas de azúcar se mezclan interaccionando con las moléculas de agua.

Pozo (1991) menciona que con respecto al fenómeno de disolución, sus explicaciones están basadas en la percepción que tienen del fenómeno, en lo que han observado en su vida cotidiana, y en los cambios de aspectos y de las propiedades macroscópicas de las sustancias. Así, en investigaciones realizadas sobre las ideas de conservación de la materia, se ha encontrado que gran cantidad de estudiantes, al explicar la disolución del azúcar en agua, predicen que la masa de la solución será menor que la suma

de las masas de agua y azúcar; incluso muchos de ellos mencionan que el azúcar desaparece al disolverse. Krnel (1998) expresa que los estudiantes confunden frecuentemente una mezcla con una reacción química.



### III. ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE CONCEPTOS QUÍMICOS FUNDAMENTALES MENCIONADOS EN LOS LIBROS DE TEXTO DE BIOLOGÍA DE NIVEL SECUNDARIA

Para el desarrollo de este capítulo se analizaron 26 libros de texto (9 de primer grado y 15 de segundo grado), autorizados por la Secretaría de Educación Pública y publicados entre los años 1994 y 1999.

La revisión de los libros se enfocó a los siguientes módulos:

#### De Primer Grado.

- Unidad I. El mundo vivo y la ciencia que lo estudia.
- II. Los seres vivos: el objeto de estudio de la Biología.
1. Composición de la materia
    - Átomos y elementos
    - Moléculas
    - Compuestos
  2. Los componentes de los seres vivos
  3. Características de los seres vivos.

#### De Segundo Grado.

- Unidad I. Niveles de organización de la materia viva.
- I. Elementos que forman la materia viva.
1. Composición química de los seres vivos.
    - Elementos formadores de los seres vivos: C, H, O, N, S, P.
  2. El carbono: elemento base de los compuestos orgánicos.
  3. Compuestos orgánicos útiles para el ser humano.
    - El petróleo.

- Unidad III. Funciones de los seres vivos
- II. La respiración
1. La función de la respiración.
  2. Órganos especializados en la respiración
  3. Respiración aerobia y anaerobia.

El análisis se orientó fundamentalmente a la identificación detallada de problemas conceptuales, en cuanto a contenido, coherencia y nivel del desarrollo de conceptos químicos básicos (átomo y partículas elementales; elemento; molécula; compuesto y mezcla), incluyendo comentarios sobre esquemas y figuras que pueden crear confusión en los alumnos.

Con respecto a cada uno de los conceptos químicos básicos mencionados, en este capítulo se hace una breve descripción del tratamiento del concepto en la mayoría de los libros, se presentan preconceptos identificados y se indican correcciones a los errores correspondientes.

En el capítulo IV se presentan los preconceptos más destacados que tienen mayor repercusión en el aprendizaje de la Química y la Biología.

Es difícil efectuar una comparación puntual de concepto a concepto, pues algunos libros tratan con mayor profundidad unos temas que otros; algunos dan definiciones de términos, otros no; algunos tienen glosario, otros carecen de él; unos señalan términos que otros ni mencionan.

### 3.1. Á T O M O

Las definiciones que se identificaron en los libros son:

- La unidad (fracción, cantidad, porción, partícula) más pequeña de un elemento químico que conserva sus propiedades (químicas) y características <sup>(79, 80, 92, 94, 96, 99, 101, 104)</sup>
- La partícula más pequeña de un elemento químico <sup>(85, 90, 93)</sup>
- La unidad más pequeña de la materia <sup>(92, 95, 104)</sup>
- La partícula más pequeña que puede entrar en una reacción química <sup>(96)</sup>
- Los bloques de construcción química de toda la materia <sup>(95)</sup>
- Pequeñas unidades de materia que en un cambio químico pasan enteras y sin separarse de una sustancia a otra <sup>(88)</sup>
- Especie de arenillas pequeñísimas de que están constituidas las células <sup>(81)</sup>

Prácticamente en todos los libros se indica que los átomos consisten de un núcleo central que contiene protones y neutrones, y electrones que giran alrededor del núcleo. En un libro <sup>(94)</sup> se indica que: "... el núcleo atómico que posee estructuras llamadas protones...", ignorándose la existencia de los neutrones.

Uno de los libros <sup>(99)</sup> menciona: "Todas las cosas del Universo están hechas con las mismas piezas. Por ser tan pequeñas, estas piezas reciben el nombre de partículas elementales. Las partículas a que nos referimos son el protón, el neutrón y el electrón. Protones, neutrones y electrones están en movimiento constante, nunca están quietos. Su movimiento se acelera cuando aumenta la temperatura. Los átomos están en el primer nivel de organización de la materia y cada uno de ellos adquirió características particulares, distintas de las que tienen las partículas que los forman. El átomo no es la simple suma de sus partículas, es una sustancia con propiedades singulares que puede ser reconocida entre muchas. En cambio, no podemos distinguir a un protón o un electrón de otro". También indica que: "El número de protones es siempre igual al número de electrones, pero el número de neutrones puede variar".

Otro libro <sup>(96)</sup> incorrectamente menciona que: "el núcleo está formado por tres clases de partículas: protones, neutrones y electrones". Los electrones no son parte del núcleo.

Erróneamente, uno de los libros <sup>(98)</sup> establece que: "todos los átomos con un mismo número de electrones, protones y neutrones pertenecen al mismo elemento químico, ejemplo, el hidrógeno con un protón y un electrón; el carbono con 6 protones, 6 neutrones y 6 electrones". El número de neutrones no es siempre igual al número de protones y electrones.

Es importante mencionar que a los átomos en general se les representa como esferas sólidas:

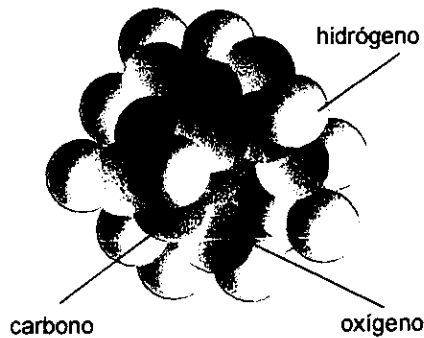


Fig. 5.- La mayoría de las moléculas presentes en los seres vivos incluyen al carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Esta representación puede ser reforzada en los alumnos con actividades como la que aparece en uno de los libros <sup>(92)</sup>: "Selecciona uno de los modelos de átomo y elabora el modelo en plastilina, con unicel u otros materiales".

A los átomos se les asignan <sup>(81, 89, 92, 96)</sup> características animistas como si fueran personas:

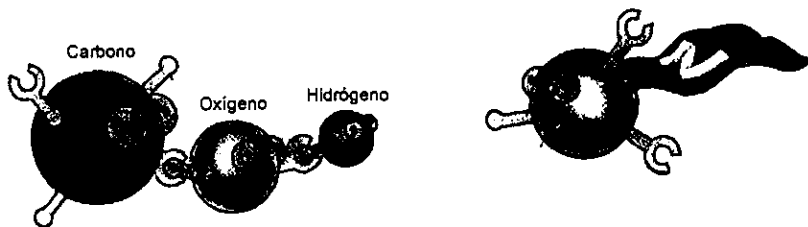


Fig. 6.- Las proteínas están formadas por C, H, O y N.

Sin hacer ninguna aclaración, se emplean escalas inadecuadas del tamaño de las partículas del átomo; incluso en una figura <sup>(82)</sup> sobre niveles de organización de los seres vivos, se representa a un átomo con núcleo y electrones del mismo color y tamaño.

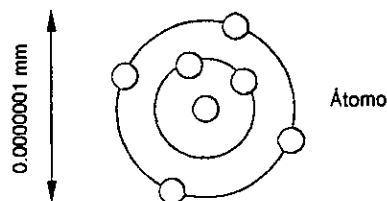


Fig. 7.- Niveles de organización de los seres vivos.

Otra figura que puede crear confusión en los estudiantes es la de un texto <sup>(80)</sup> que representa al núcleo de un átomo con partículas con tres colores diferentes:

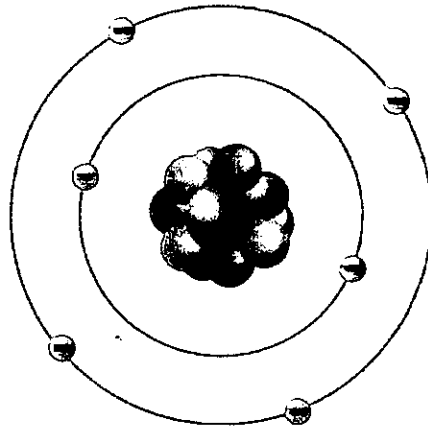


Fig. 8.- El átomo de carbono contiene 6 neutrones, 6 protones y 6 electrones.

En otro libro <sup>(79)</sup> el núcleo presenta partículas de numerosos colores:

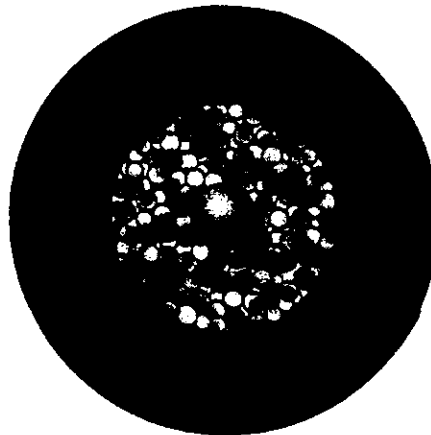


Fig.9.- Nube electrónica. La velocidad y las múltiples direcciones en las que se desplazan los electrones dejan huellas que forman una nube electrónica.

En los libros existen figuras que en lugar de facilitar la comprensión o visualización de conceptos, la dificultan, por ejemplo:

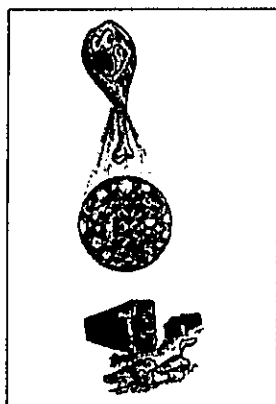


Fig.10.- Molécula de proteína ¿Los átomos de qué elementos identificas en ella? <sup>(81)</sup>

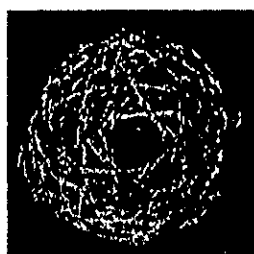


Fig.11.- En la ilustración se muestra cómo los electrones se encuentran en constante movimiento <sup>(101)</sup>.

¿Cómo se puede mostrar el movimiento en una ilustración?

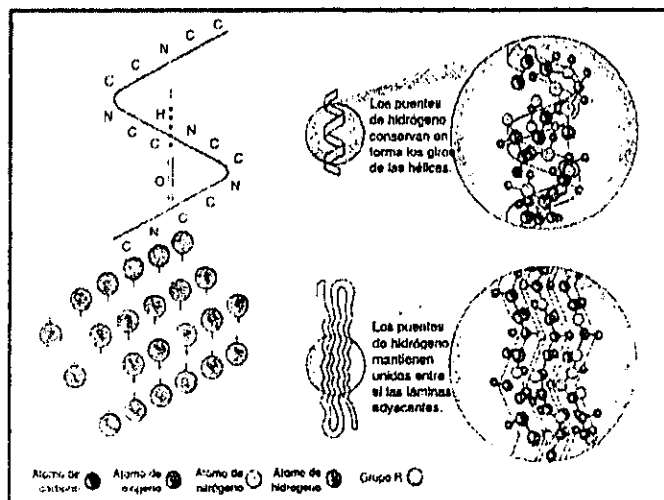


Fig.12.- Observa cómo se unen los átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

a) Los puentes de hidrógeno conservan en forma los giros de la hélice, y b) Los puentes de hidrógeno mantienen unidas entre sí las láminas adyacentes <sup>(98)</sup>.

No se aclara a qué se refiere puentes de hidrógeno, láminas adyacentes y Grupo R.

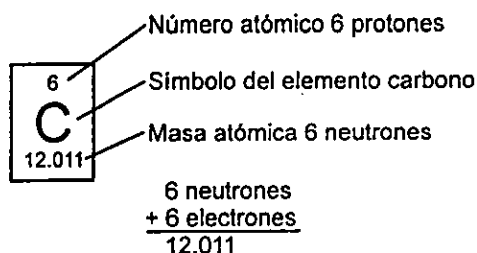


Fig.13.- Composición atómica de la punta de un lápiz. La estructura básica del grafito es el átomo de carbono <sup>(92)</sup>.

Es incorrecta la información sobre la masa atómica, pues no corresponde ni a 6 neutrones, ni a la suma de neutrones y electrones. Es equivalente a la suma de protones y neutrones.

Frecuentemente se entremezclan conceptos de niveles micro y macroscópico, así por ejemplo, tres libros <sup>(79, 84, 97)</sup> mencionan que los átomos se unen o combinan para formar los compuestos químicos, sin mencionar las moléculas.

Por último, en uno de los libros <sup>(81)</sup> hay comentarios erróneos acerca de los átomos: "Al parecer no todos los átomos son iguales" y "... los átomos; los químicos los clasifican por su tamaño".

### 3.1.1 PROTONES

Usualmente se menciona que son partículas elementales del átomo que se encuentran en el núcleo y poseen carga positiva.

Dos libros <sup>(96, 99)</sup> expresan que: "las cargas del protón y del electrón son iguales, pero de signo contrario". Es conveniente aclarar que son iguales con respecto a su magnitud, pero con carga eléctrica opuesta.

Algunos comentarios que se encuentran sobre estas partículas:

- "De acuerdo con la cantidad de protones, los átomos ocupan un lugar progresivo en la tabla periódica de los elementos; a esta característica se le da el nombre de número atómico" <sup>(79)</sup>. Esto es correcto.
- "La naturaleza de cada tipo diferente de átomo depende del número de protones que contenga su núcleo" <sup>(99)</sup>. Aunque esto es correcto, también influye el número de

neutrones, lo cual se manifiesta en la existencia de isótopos de algunos elementos químicos.

- “El protón es dos mil veces más grande que el electrón”<sup>(99)</sup>. En cuanto a su masa.
- “Carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno tienen un peso atómico bajo (por tener pocos protones)”<sup>(85)</sup>. Este comentario es correcto

### 3.1.2 NEUTRONES

Generalmente se menciona que son partículas que constituyen al núcleo atómico. Sin embargo, hay dos corrientes con respecto a su carga:

- Unos expresan que estas partículas están desprovistas de carga eléctrica<sup>(87)</sup> o que su carga, es nula<sup>(96)</sup>.
- Otros<sup>(93, 98,101)</sup> indican que los neutrones poseen carga neutra; uno de ellos<sup>(93)</sup> falsamente expresa “por poseer a un tiempo carga eléctrica negativa y positiva”:

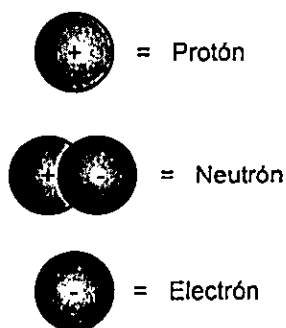


Fig. 14.- Estructura del átomo

En dos libros<sup>(90, 99)</sup> se unen estas corrientes: “neutrones, partículas que no tienen carga, son neutros ( $\pm$ ).”

Un libro<sup>(87)</sup> establece: “Neutrón. Unidad atómica de masa”. Es más adecuado expresar que posee una masa relativa de 1 uma (unidad de masa atómica).

En otro de ellos<sup>(96)</sup> se hace un comentario innecesario sobre el neutrón, probablemente incomprendible para un estudiante que inicia el segundo grado de secundaria: “Partícula elemental de la familia de los bariones. Se produce... artificialmente por medio de un acelerador de partículas, o durante la fisión nuclear realizada en una pila atómica”.

### 3.1.3 ELECTRONES

De las partículas elementales del átomo, son los electrones a los que se dedica mayor información en los libros.



Coinciden en referirse a ellos como las partículas atómicas de carga negativa, que se mueven alrededor del núcleo, sin embargo, difieren en cuanto a la denominación de las regiones en que se encuentran, utilizando el mismo autor en algunos casos, términos como sinónimos y empleándolos sin aclarar que corresponden a diversos modelos atómicos, como se resume en la siguiente tabla:

TERMINOS						
Libro	Nivel de energía	Orbita	Orbital	Nube electrónica	Capa	Corteza
79	X	X		X		
80	X		X			
89	X		X			
92				X		
94			X			
96		X				X
97	X	X	X	X	X	
99		X				
101	X					

Tabla 2. Términos empleados para denominar las regiones en que se mueven los electrones alrededor del núcleo.

Para ilustrar lo anterior:

- "... los electrones giran a gran velocidad en torno al núcleo, en órbitas llamadas niveles de energía" <sup>(79)</sup>.
- En una representación gráfica del átomo de carbono <sup>(89)</sup> se indica: "niveles u orbitales".
- "... electrones que circulan alrededor del núcleo siguiendo órbitas u orbitales específicas" <sup>(97)</sup>.
- "... conforme aumenta la distancia de cada capa o nivel en que viajan los electrones, ..." <sup>(97)</sup>.

Se menciona <sup>(87, 96)</sup> que la carga del electrón es la mínima o elemental carga eléctrica negativa.

Con respecto a la importancia de los electrones en las reacciones químicas, se indica que: "en la nube electrónica se lleva a cabo la reacción química desprendiendo o aceptando electrones de los átomos, para formar moléculas" <sup>(79)</sup>; "De la organización que tengan los electrones en los átomos de cada elemento, dependerá el comportamiento químico de éste" <sup>(97)</sup>; "El comportamiento de los átomos depende del número de electrones que estén mas alejados del núcleo, ..." <sup>(99)</sup>.

En un libro <sup>(97)</sup> una figura es confusa pues parece que en la nube electrónica hay protones y neutrones y se indica erróneamente la localización del núcleo.

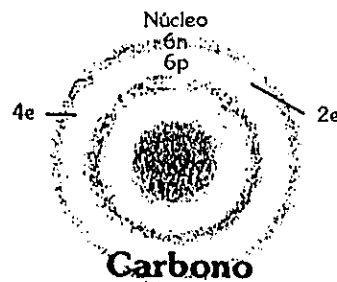


Fig.15.- Modelo del átomo de "nube de electrones".

### 3.1.4 IONES

Únicamente dos libros emplean este término; ambos <sup>(79, 97)</sup> expresan que los átomos son neutros por tener igual número de protones y electrones, pero que cuando los átomos adquieren carga eléctrica porque el número de protones y electrones es diferente (por pérdida o ganancia de electrones) pasan a ser iones. Uno de ellos <sup>(79)</sup> expresa que "atracción eléctrica ocurre entre iones de distinta carga"; en el otro <sup>(97)</sup> se dice incorrectamente que: "a los iones también se les conoce como electrolitos, porque en solución pueden conducir corriente eléctrica".

### 3.1.5 ENLACE QUIMICO

Sólo dos libros <sup>(89, 97)</sup> indican que los enlaces químicos son fuerzas de atracción que mantienen unidos a unos átomos con otros, para formar moléculas.

Aunque en general se expresa que los átomos se unen entre sí mediante enlaces o uniones químicas para formar moléculas, y que lo logran por transferencia (pérdida / ganancia) o compartición de electrones externos de los átomos, existen varios preconceptos al respecto en algunos libros:

- Los átomos comparten electrones cuando forman la materia viva <sup>(90, 92, 95, 101)</sup>
- Los enlaces químicos se producen al compartirse electrones entre átomos <sup>(101)</sup>.
- Los electrones participan en la formación de las uniones entre los átomos, llamados enlaces covalentes <sup>(95)</sup>.
- Existen diferentes tipos de enlaces o uniones, mas en todos los casos se presenta una transferencia o intercambio de electrones <sup>(85)</sup>.
- En la nube electrónica se lleva a cabo la reacción química desprendiendo o aceptando electrones para formar moléculas <sup>(79)</sup>.

Con respecto a los comentarios anteriores, conviene aclarar que: los átomos comparten o transfieren electrones cuando forman tanto la materia viva como la materia inerte. En los enlaces covalentes se comparten electrones, en los enlaces iónicos se transfieren.

- “En todo enlace hay transferencia o intercambio de electrones. Una propiedad muy importante de los elementos biogénicos es que forman enlaces covalentes estables” <sup>(85)</sup>. En los enlaces también puede haber compartición de electrones. Además, aquí hay una contradicción, pues los enlaces covalentes no implican transferencia de electrones, sino compartición.
- “Existen enlaces iónicos, covalentes, de hidrógeno, de azufre y otros” <sup>(95)</sup>. El azufre, igual que cualquier otro átomo, forma enlaces covalentes o iónicos dependiendo del contexto químico en que se encuentre. El llamado puente de hidrógeno no es un enlace químico propiamente dicho, sino una vigorosa fuerza intermolecular.
- “El número de enlaces covalentes varía según el número de electrones que el elemento tenga en su último orbital” <sup>(80)</sup>. Covalente. Tipo de enlace en el que dos elementos comparten un par de electrones en la formación de una molécula de un compuesto” <sup>(87)</sup>. Es incorrecto usar la palabra orbital, debe decirse nivel energético y, además, el número de enlaces depende de cuántos electrones desapareados pueda tener un átomo, con una inversión de energía mínima.
- “El carbono es el único elemento que puede formar enlaces covalentes al compartir sus electrones” <sup>(80)</sup>. Esto es falso, pues muchos otros átomos forman enlaces covalentes.
- “Carbono, nitrógeno y oxígeno son los elementos más ligeros que pueden formar enlaces covalentes estables” <sup>(80)</sup>. Erróneo, el hidrógeno, litio, berilio y boro son más ligeros que los mencionados y pueden formar enlaces covalentes.
- “Carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno tiene un peso atómico bajo y, al ser ligeros, los enlaces que constituyen quedan muy fuertes, porque cuanto menor peso atómico presenten los elementos, mayor fortaleza tendrán los compuestos que forman” <sup>(85)</sup>. La fortaleza de un enlace no depende del peso atómico, sino del número de electrones involucrados en el enlace: a mayor número, mayor fortaleza.
- “Los enlaces iónicos ocurren entre moléculas o entre diferentes partes de una gran molécula” <sup>(80)</sup>. Los enlaces iónicos son atracciones entre iones no entre moléculas.

Es importante mencionar que por lo menos hay dos libros que pueden inducir en el alumno la idea de que los enlaces son materia: Uno <sup>(81)</sup> pregunta: ¿Qué papel cumplen los brazos o enlaces en una estructura atómica?; en el otro libro <sup>(80)</sup> en una figura se representan los enlaces ajenos a la interacción entre átomos, con materialidad propia:

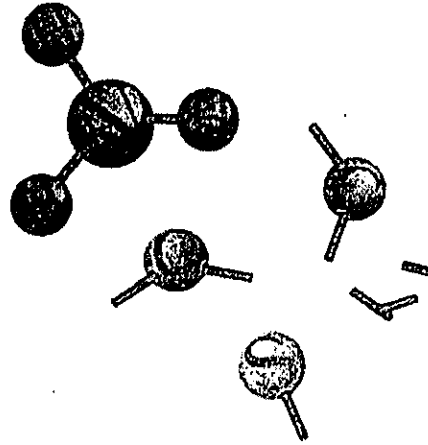


Fig. 16.- Bioelementos o elementos indispensables para la vida.

Esto es reforzado por las representaciones animistas de los átomos en algunos libros <sup>(81, 89, 92, 96)</sup> donde brazos actúan como enlaces entre átomos:

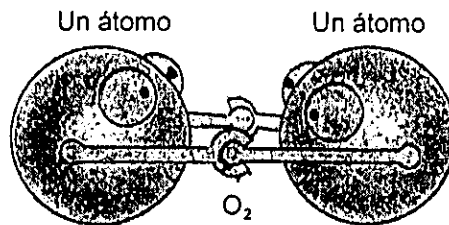


Fig. 17.- Molécula de oxígeno formada por dos átomos.

En una figura de un libro <sup>(98)</sup>: “Observa cómo se unen los átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno”, se indican “puentes de hidrógeno”; lo mismo sucede en una figura de una proteína <sup>(92)</sup>. Lo cual puede crear confusión entre enlace químico y puente de hidrógeno. En un puente de hidrógeno, el hidrógeno de una molécula es atraído por un par de electrones no compartido del átomo electronegativo de otra molécula.

Por cierto, en la figura 
$$\begin{array}{c} \text{O} \\ / \quad \backslash \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$$
 se menciona: “las rayitas que unen a los símbolos se llaman enlaces” <sup>(95)</sup>.

### 3.1.6 VALENCIA

Únicamente cuatro libros se refieren a este término:

- Aunque dos de ellos la definen como la capacidad que tienen los elementos <sup>(85)</sup> o los átomos <sup>(92)</sup> de combinarse con otros, el segundo de ellos hace una aplicación inadecuada de su definición, al establecer que: “el hidrógeno es monovalente porque

tiene una sola valencia, el oxígeno es divalente porque tiene dos valencias y el carbono es tetravalente porque tiene cuatro valencias; esta idea se reafirma en una figura:

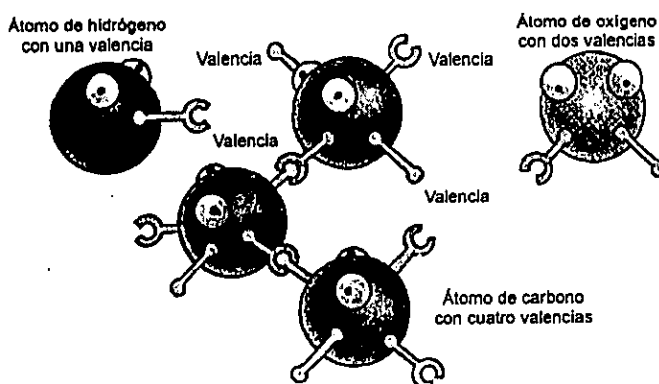


Fig.18.- Número de valencias que se presentan en los átomos de hidrógeno, oxígeno y carbono.

- Uno de ellos <sup>(85)</sup> también indica correctamente que: “la valencia corresponde al número de electrones que gana o pierde un elemento al combinarse con otro”; otro <sup>(97)</sup> establece que: “las valencias representan el número de electrones de la capa externa de un átomo, que puede ceder, aceptar o compartir durante la formación de enlaces químicos”.
- Otro libro <sup>(79)</sup> acertadamente comenta: “ El hidrógeno tiene valencia química de 1, o sea, es monovalente, por poseer en su único nivel de energía un electrón. En un momento dado, el hidrógeno nos puede servir de base para catalogar de acuerdo con su valencia a los demás elementos que se combinan con él; en el caso de la molécula de agua, se necesitan dos hidrógenos por un átomo de oxígeno, de lo cual deducimos que el oxígeno tiene valencia de 2, o sea, es un elemento que reacciona como divalente”.

Sin nombrar el término “valencia”, algunos libros mencionan que para que un átomo <sup>(97,99)</sup> o un elemento <sup>(79,99)</sup> logren su estabilidad química, tienen tendencia a completar 8 electrones en su última órbita, capa o nivel. Estos comentarios manifiestan confusión, pues la estabilidad química corresponde a átomos, no a elementos.

### 3.1.7. REACCIONES QUIMICAS

Sobre este tópico se menciona que:

- “Las sustancias se combinan y descomponen a nivel atómico, esto es, los átomos se unen y desunen mediante reacciones químicas” <sup>(96)</sup>.
- “Los átomos se combinan para formar moléculas. Cuando se unen átomos de un mismo tipo, forman moléculas de un elemento (por ejemplo, O<sub>2</sub>)” <sup>(94)</sup>. “Cuando se unen átomos de elementos distintos se forman compuestos” <sup>(85,94)</sup>.

“Hay átomos que difícilmente se combinan, por lo tanto, permanecen aislados, están solos; mientras otros siempre están acompañados, combinándose y volviéndose a combinar por la acción de alguna forma de energía: calorífica, luminosa, eléctrica, química, radiante, mecánica, etc.”<sup>(99)</sup>. Este comentario es correcto.

### 3.1.8 MODELOS ATOMICOS

Aunque varios libros utilizan el modelo del “sistema planetario” para representar la estructura del átomo, sólo dos de ellos dan explicaciones al respecto:

- “Como hasta ahora nadie ha podido observar un átomo, su estructura ha sido propuesta por medio de diagramas o modelos fundamentados en hipótesis e investigaciones sobre su estructura. Uno de los modelos atómicos más conocidos llamado “planetario” de Rutherford – Bohr, considera que los electrones se encuentran en diferentes órbitas alrededor del núcleo, de manera parecida a las órbitas que la Tierra y los planetas describen alrededor del sol”<sup>(97)</sup>. Rutherford estableció que el átomo poseía un núcleo central positivo, donde se encontraba concentrada casi toda la masa y que un número igual de electrones negativos estaban fuera del núcleo girando alrededor de él. Bohr fue quien postuló que los electrones sólo podían encontrarse en determinados y definidos niveles de energía.
- “de acuerdo con el modelo de Bohr, el máximo de órbitas que un átomo puede tener son 7, asignándoles letras, que del interior al exterior serían: primer nivel de energía: K, ...”(79). Bohr no indicó que el número máximo de órbitas fuera 7, y los átomos en estado excitado pueden tener electrones en órbitas superiores.

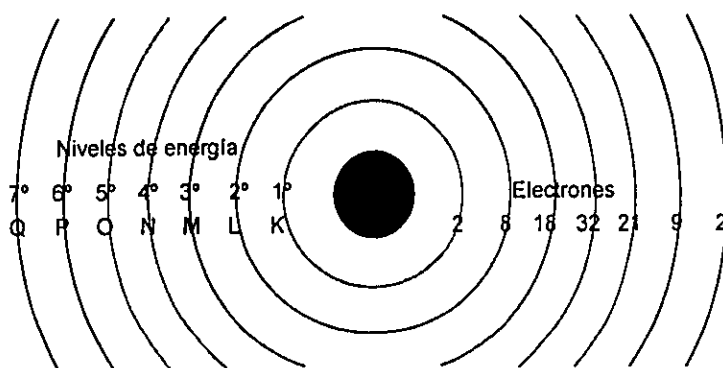


Fig.19.- Diagrama electrónico del Uranio (U), se señala su máximo de órbitas y los electrones que giran en cada una de ellas.

En el primero de los libros<sup>(97)</sup> se comenta acerca del modelo de la “nube de electrones”: “Otro modelo atómico más reciente es el conocido como de la nube de electrones, que considera a los electrones viajando a gran velocidad alrededor del núcleo;

todo el espacio que los electrones puedan ocupar alrededor del núcleo, representará la nube de electrones, aunque éstos solo ocupen alguna pequeña parte de esa zona circular en cualquier instante de su rápido movimiento orbital”. Este enunciado no considera que la “nube de electrones” corresponde a la densidad de probabilidad de hallar al electrón en una región del espacio.

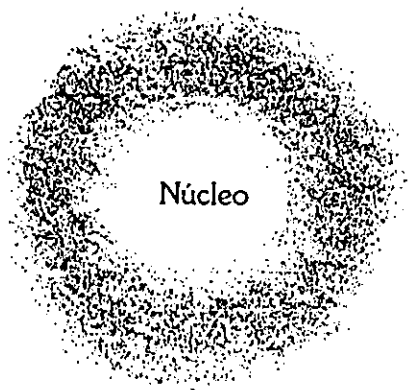


Fig. 20.- Modelo del átomo de “nube de electrones”.

### 3.2 MOLÉCULA

Las definiciones que se identificaron en los libros son:

- Partícula más pequeña de un compuesto o elemento (poliatómico) que mantiene la composición o propiedades características de la sustancia <sup>(96,100,101)</sup>.
- Unidad más pequeña de un compuesto que muestra las propiedades específicas de ese compuesto <sup>(90,92,97)</sup>.
- Partícula o parte más pequeña que conserva las características de una sustancia <sup>(87,89,99)</sup>. Debe aclararse a que le llaman sustancia, para evitar confusiones en el alumno.
- Parte más pequeña de una sustancia que conserva las propiedades de ésta y que tiene movimiento independiente. Sustancia: Clase particular de materia homogénea; puede ser elemento, compuesto o mezcla <sup>(104)</sup>. En esta definición destaca que los autores consideran incorrectamente que una molécula conserva las propiedades de una mezcla.
- Unión de dos o mas átomos <sup>(95)</sup>.

Es recomendable que se aclare a qué propiedades se refiere (poder oxidante o reductor, carácter ácido o básico, etc.) descartando los que dependen del estado de agregación, como punto de fusión, color, dureza y solubilidad, evitando con ello que el alumno traslade características macroscópicas de una sustancia a moléculas aisladas dando lugar a que, por ejemplo, exprese erróneamente que si el agua es líquida, sus moléculas individualmente también son líquidas.

Con respecto a cómo está constituida una molécula, las explicaciones se pueden agrupar así:

- Formada por dos o más átomos, que pueden ser del mismo elemento o de elementos distintos <sup>(92,93,97,98)</sup>.
- Constituida por dos o más átomos unidos entre sí por enlaces químicos <sup>(90,99)</sup>. En proporciones constantes.
- Formada por dos o más átomos <sup>(95)</sup>.
- Constituida por uno o más átomos <sup>(89,96)</sup>.

Uno de los libros <sup>(99)</sup> comenta que: “ La molécula adquiere propiedades que no tienen los átomos aislados, es decir, adquiere características que la hacen diferente de la simple suma de los átomos que la forman”.

Con respecto a moléculas, hay actividades y enunciados que pueden originar ideas erróneas en los estudiantes. A continuación se presentan algunas:

- En una actividad sugerida <sup>(104)</sup>:  
 “¿ De qué están hechas las cosas?  
 Toma una galleta o un terrón de azúcar y divídela en dos. Vuelve a dividir cada mitad en otras dos partes y así sucesivamente hasta que ya no te sea posible. Si pudieras seguir dividiéndolas  
 ¿Qué crees que ocurriría?  
 ¿Qué son esas partículas que forman la galleta o el terrón de azúcar?  
 ¿Cómo te puedes dar cuenta de que existen las moléculas?”

La realización de esta actividad conduce al alumno a inferir erróneamente que con la división sucesiva de la galleta, puede constatar la existencia de las moléculas. Además, una galleta es una mezcla, no un compuesto.

Enunciados como los siguientes pueden inducir en el alumno la creencia errónea de que el ATP es energía pura:

- “... se obtiene además energía en forma de ATP” <sup>(90)</sup>.
- “... la energía en forma de ATP, ...” <sup>(101)</sup>.
- “... la energía luminosa se transforma en ATP ...” <sup>(101)</sup>.

Es una molécula con elevado contenido de energía.

- “Las moléculas de carbono pueden unirse entre sí y con moléculas de otros elementos para formar una gran cantidad de compuestos orgánicos” <sup>(94)</sup>. Se debe referir a “átomos” en lugar de “moléculas”.
- “A pesar de la sencilla constitución de las moléculas orgánicas,...” <sup>(103)</sup>. No todas son sencillas.
- “Los seres vivos en realidad son muy parecidos porque todos están constituidos por moléculas”.



Los dos últimos comentarios son demasiado simplistas y carentes de veracidad.

### 3.2.1 BIOMOLÉCULAS

En todos los libros se les da mucha importancia a las biomoléculas (proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos) pero, en general, erróneamente se refieren a ellas como las moléculas que constituyen a los seres vivos, como si el agua, que en la mayoría de los organismos representa el mayor porcentaje en su composición, no existiese, amén de sales minerales y otros compuestos. Ejemplos relacionados con este comentario:

- "Biomolécula. Nombre que reciben las moléculas que constituyen a los seres vivos" <sup>(94)</sup>.
- "Los elementos biogénicos se encuentran en el cuerpo de los seres vivos formando biomoléculas" <sup>(94)</sup>.

### 3.2.2 MOLÉCULAS ORGÁNICAS E INORGÁNICAS

Aunque uno de los libros <sup>(80)</sup> expresa que "Las moléculas que integran a los seres vivos son de dos tipos: inorgánicas y orgánicas, ..." varios de ellos pueden inducir a que el alumno crea erróneamente que los seres vivos únicamente están constituidos por moléculas orgánicas, por ejemplo:

- "... organismos, y a los compuestos y moléculas químicas que los integran se les conoce como moléculas orgánicas" <sup>(82)</sup>.
- "Orgánica. Molécula que entra en la composición de los seres vivos" <sup>(95)</sup>.
- "De acuerdo con la estructura molecular, los seres inorgánicos tienen moléculas sencillas formadas por pocos elementos químicos, en cambio, las moléculas de los seres vivos tienen cadenas de carbono gigantescas" <sup>(79)</sup>. Debe referirse a que con cierta frecuencia, la materia inorgánica está constituida por moléculas con un reducido número de átomos.
- "Las moléculas que forman a los seres vivos contienen una gran cantidad de átomos de carbono unidos por enlaces covalentes" <sup>(95)</sup>.

Dos de los libros <sup>(94,99)</sup> especifican que las moléculas orgánicas contienen carbono.

### 3.3 ELEMENTO

Las definiciones que se identificaron en los libros son:

- Sustancia formada a partir de una sola clase de átomos que no puede descomponerse en otras más simples mediante reacciones químicas, ya que pierde sus propiedades <sup>(89,92,96)</sup>.
- Sustancia formada por átomos con propiedades químicas iguales <sup>(101)</sup>.
- Porción de materia formada por una sola clase de átomos, que se representa por medio de un símbolo y que toma parte en una reacción química <sup>(104)</sup>.
- Sustancia que se encuentra formada por un solo tipo de unidades básicas llamadas átomos <sup>(97)</sup>.
- Sustancia simple que no se puede descomponer en otras más sencillas <sup>(88)</sup>.
- Sustancia simple que existe en la naturaleza <sup>(85)</sup>.
- Una de las 92 sustancias que combinadas forman cuanto conocemos <sup>(84)</sup>.
- Sustancia constituida por átomos del mismo número atómico <sup>(95)</sup>.

Podemos concluir que varios de los libros mencionados <sup>(89,92,96,97,104)</sup> y otros <sup>(84,93,94)</sup> indican que un elemento está formado por átomos de un solo tipo. Algunos <sup>(78,85,102)</sup> simplemente señalan que los elementos están formados por átomos.

Únicamente uno de los libros analizados se refiere a que un elemento es una sustancia constituida por átomos con el mismo número atómico; definición que elimina la ambigüedad de si se consideran o no los isótopos como átomos del mismo tipo. Los isótopos son átomos del mismo elemento porque tienen el mismo número atómico (protones), pero tienen diferente número de masa por tener un número distinto de neutrones.

Comentarios sobre los elementos en dos libros:

- "La mayoría de los elementos químicos no se encuentran aislados, sino formando compuestos" <sup>(79)</sup>.
- "Los elementos están hechos de átomos, que son capaces de unirse y formar moléculas y posteriormente compuestos" <sup>(102)</sup>.

Existen numerosos enunciados erróneos o confusos, relacionados con los elementos químicos, tales como:

- "Las células de la curiosa familia C, H., O, N, S, P" <sup>(81)</sup>.
- "...ozono, elemento formado por la unión de tres átomos de oxígeno" <sup>(84)</sup>. El ozono no es un elemento, es un alótropo del oxígeno.
- "Algunos elementos forman las rocas, otros el agua, otros la materia viva" <sup>(85)</sup>. Hay elementos como el oxígeno que forman parte tanto de rocas y del agua, como de la materia viva.

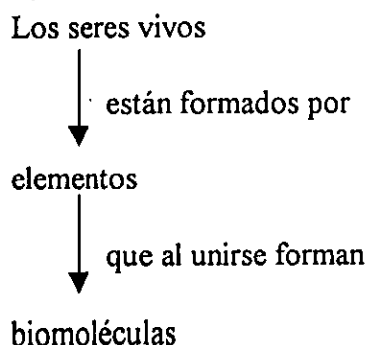
- “De los elementos ¿Cuál crees que sea el más importante” <sup>(88)</sup>.
- “En un objeto tan común como es la punta de grafito del lápiz con el que escribes, puedes encontrar átomos y elementos” <sup>(92)</sup>.
- “El elemento hidrógeno está formado por un solo átomo H<sub>1</sub>. El elemento oxígeno está formado por dos átomos y se escribe O<sub>2</sub>” <sup>(92)</sup>. Las moléculas del elemento hidrógeno son diatómicas (H<sub>2</sub>), igual que la mayoría de las de oxígeno (O<sub>2</sub>).
- “La materia no viva (los elementos químicos)...” <sup>(93)</sup>.
- “...cuando se estudió el ciclo del carbono y el nitrógeno vimos que estos elementos abundan en la naturaleza en forma de gases” <sup>(101)</sup>. El carbono forma al CO y al CO<sub>2</sub>, pero como elemento no es gas, sino sólido: grafito y diamante.
- “Bioelemento . Elemento esencial que forma parte de la fórmula estructural de los compuestos orgánicos...” <sup>(101)</sup>. Una fórmula es una representación de un compuesto.
- “De este modo , un hongo, un hombre y una bacteria están formados por unos cuantos elementos. Como puedes ver, la materia viva es muy simple en su constitución” <sup>(103)</sup>.

### 3.3.1 RELACIONES ELEMENTO - COMPUESTO Y ELEMENTO – MOLECULA

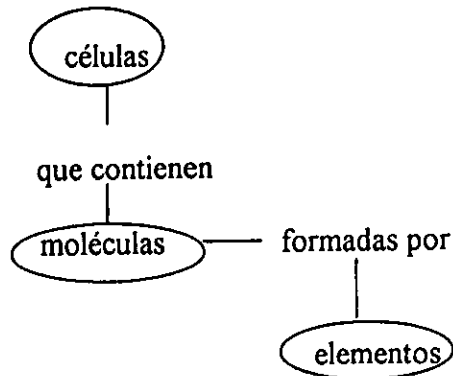
Pocos libros <sup>(79,84,89,93)</sup> indican la relación elemento – compuesto, es decir, que los elementos se combinan, unos con otros, dando lugar a la formación de compuestos. En cambio, con frecuencia se relaciona a los elementos con las moléculas, mezclando términos de nivel macro y microscópico, como se ejemplifica a continuación:

- “ Al unirse, los elementos van a constituir moléculas...” <sup>(79)</sup>.
- “ Estos elementos se combinan por medios químicos para dar origen a moléculas” <sup>(91)</sup>.
- “ Los elementos son capaces de combinarse para constituir moléculas” <sup>(92)</sup>.
- “ Estos elementos se combinan y forman las biomoléculas” <sup>(93)</sup>.
- “ ... la mayoría de los elementos químicos se hallan formando moléculas en la naturaleza “ <sup>(94)</sup>.

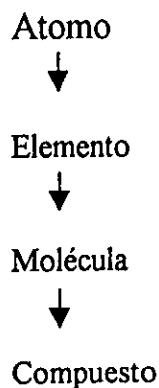
- En un mapa conceptual <sup>(89)</sup> :



- En otro mapa conceptual:



- En un esquema sobre los niveles de organización de la materia <sup>(92)</sup> :



- En una actividad:
- “ ... separen de la siguiente lista, los elementos y las moléculas: Bióxido de carbono, calcio, magnesio, cloruro de sodio, fósforo, agua, potasio” <sup>(92)</sup> . En lugar de mencionar moléculas convendría decir compuestos.
- “ ... estos elementos químicos al combinarse forman compuestos o moléculas” <sup>(79)</sup> .
- “ Los componentes de los seres vivos: elementos, moléculas y células” <sup>(86)</sup> .

### 3.3.2 ELEMENTOS QUIMICOS EN LA NATURALEZA

Con respecto a los elementos que se encuentran en la naturaleza varios libros mencionan erróneamente la cantidad de ellos:

- “Los científicos han reconocido más de 100 elementos químicos, los cuales se encuentran en la naturaleza” <sup>(79)</sup> .

- “Hasta ahora se han descubierto 111 elementos , ...” (89).
- “Se conocen poco más de 100 elementos químicos en la naturaleza” (95).
- “Hasta la fecha se han identificado 109 elementos químicos en toda la naturaleza” (98).
- “Actualmente se han identificado más de 92 elementos químicos naturales” (101).
- “De los 90 elementos que hay en la naturaleza” (104).

Existen 92 elementos en la naturaleza.

Por cierto, en uno de estos libros (95) se expresa:

“Los elementos naturales se han organizado en la llamada tabla Periódica de los Elementos: Tabla Periódica que indica los elementos más abundantes en los seres vivos”. Esto es incorrecto, pues en la Tabla Periódica se indican tanto los elementos que constituyen a los seres vivos, como a los que forman parte de la materia inerte.

### 3.3.3 ELEMENTOS QUIMICOS Y EL AGUA

El uso cotidiano tan ambiguo que se le da al término elemento, provoca que se le asigne al agua la categoría de elemento, en lugar de compuesto, como se muestra a continuación:

- “Entre los elementos que circulan en la naturaleza están el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, oxígeno y el agua” (84).
- “ Entre los elementos sencillos del medio están el agua y el dióxido de carbono” (85).
- “ Tales elementos pasaron del medio al cuerpo de los seres vivos y de éste al medio. Por ello se habla de ciclos del carbono, el nitrógeno y el agua” (93).
- “ El agua es uno de los elementos más importantes” (100).

### 3.4 COMPUESTO

Las definiciones que se identificaron en los libros son:

- Especie química constituida por dos o más elementos distintos, en proporción fija y definida, y que puede descomponerse en ellos mediante procedimientos químicos <sup>(96)</sup>.
- Sustancia cuyas moléculas constan de dos o más átomos diferentes y cuyos constituyentes no pueden separarse por medios físicos <sup>(97)</sup>.
- Sustancia formada por átomos de dos o más elementos <sup>(92,98,101)</sup>.
- Molécula formada por átomos diferentes con propiedades distintas a los elementos que la conforman <sup>(80,89)</sup>.
- Sustancia originada cuando los elementos se combinan entre sí de distintas maneras <sup>(85)</sup>.
- Sustancia en que se combinan dos o más elementos <sup>(87)</sup>.

Se menciona <sup>(89)</sup> que: “Las características de un compuesto dependen del número y del tipo de átomos que lo forman”.

Por cierto, el término compuesto es empleado inadecuadamente en algunos casos:

- “En una actividad: Investiga en tu casa qué artículos, utensilios, aparatos, medicinas, etc. son compuestos orgánicos” <sup>(90)</sup>.
- “Existen algunos elementos y compuestos de suma importancia en la estructura de la materia orgánica, éstos son: carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno” <sup>(100)</sup>. Todos son elementos, ninguno de los mencionados son compuestos.

#### 3.4.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

En varios libros se indica que los compuestos pueden agruparse en dos tipos: orgánicos e inorgánicos. Algunos mencionan que los compuestos orgánicos, a diferencia de los inorgánicos, contienen como principal elemento el carbono. Dos de ellos <sup>(94, 98)</sup> expresan que estos compuestos se reconocen porque al ser quemados dejan un residuo negro. Debe aclararse que hay compuestos como bióxido de carbono y los carbonatos y bicarbonatos que aunque contiene carbono, no son considerados orgánicos.

Se menciona <sup>(87)</sup> que: “Los compuestos orgánicos son mucho más estables que los inorgánicos, porque el enlace entre los elementos es covalente, muy fuerte y difícil de romper; en cambio, los enlaces entre los elementos que forman los compuestos inorgánicos, son de tipo iónico”. Ambos tipos de enlaces son igualmente fuertes.

Uno de los libros <sup>(102)</sup> establece que: “Los compuestos inorgánicos simples son transformados por la materia viva en compuestos orgánicos, mediante algunas funciones específicas de la célula que requieren materia y energía”. No todos los compuestos inorgánicos al transformarse forman compuestos orgánicos. En algunos casos si sucede lo mencionado, como en el caso del bióxido de carbono y el agua que durante la fotosíntesis se convierten en carbohidratos y oxígeno.

Con respecto a los compuestos orgánicos es importante mencionar que algunos libros dan explicaciones, que pueden provocar que se interprete que los seres vivos únicamente están constituidos por compuestos orgánicos, sin considerar que compuestos inorgánicos como el agua y diversas sales minerales, son esenciales para la vida:

- “Orgánico. Todo lo que tiene vida” <sup>(87)</sup>.
- “Las células vivas están constituidas por una serie de compuestos a los que identificamos como compuestos orgánicos” <sup>(90)</sup>.
- “Los seres vivos están formados por una gran cantidad de compuestos orgánicos” <sup>(94)</sup>.
- “Orgánica. Molécula que entra en la composición de los seres vivos” <sup>(95)</sup>.
- “Los organismos están formados por un pequeño grupo de compuestos o moléculas orgánicas” <sup>(95)</sup>.

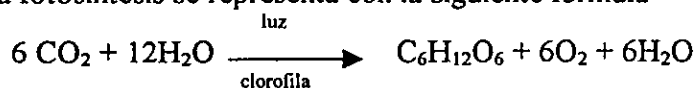
Por otro lado, las definiciones que se dan con relación a lo inorgánico, pueden originar que se considere que los compuestos orgánicos tienen vida, mientras que los inorgánicos no, como se ejemplifica a continuación:

- “Compuestos inorgánicos, inertes o sin vida” <sup>(87)</sup>.
- “Inorgánico. Cualquier cuerpo sin órganos para la vida, por ejemplo, los minerales” <sup>(87)</sup>.
- “Inorgánico. Referente a lo que no está vivo. Se dice de la mayoría de los compuestos que no contienen átomos de carbono” <sup>(95)</sup>.
- “Inorgánico. No orgánico, sin vida, sin organización” <sup>(96)</sup>.

### 3.4.2 FÓRMULAS

El término fórmula se emplea erróneamente en algunos libros, en lugar de ecuación:

- “La fotosíntesis se representa con la siguiente fórmula” <sup>(84)</sup>.



- “El proceso de fotosíntesis se resume en la siguiente fórmula” <sup>(103)</sup>.



- “Esto reafirma el concepto de la fórmula simplificada de la respiración, en su aspecto químico” <sup>(102)</sup>.



### 3.5 MEZCLA

No se identificó definición de mezcla.

En varios libros <sup>(75,85,92,95,96,97,101)</sup> se presenta el preconcepto de considerar al petróleo como un compuesto y no como una mezcla, probablemente debido a que en la Unidad I del Programa de Biología – Segundo Grado, de la Secretaría de Educación Pública, se señala: “Compuestos orgánicos útiles para el hombre (petróleo, plásticos, medicamentos)”.

La existencia de este preconcepto se confirma con comentarios como estos:

- “El petróleo es un combustible fósil,... Esta molécula orgánica está formada por hidrocarburos” <sup>(80)</sup>.
- En una actividad: “Encuentra en la sopa de letras los nombres de seis compuestos y clasificalos en orgánicos e inorgánicos” <sup>(89)</sup>. Una palabra es petróleo y otra es acero; ambas son mezclas.

D Y S D I A M A N T E J  
R S A C E R O H J R B I  
A C L E R O A C E I T E  
S A P E T R Ó L E O C L  
G A S O L I N A T Y C S

Compuestos orgánicos	Compuestos inorgánicos
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

- “Escribe el uso que se da a los siguientes compuestos orgánicos en la vida cotidiana: Petróleo \_\_\_\_\_” <sup>(92)</sup>.

La importancia de este preconcepto que considera al petróleo como un compuesto se acentúa, pues en varios de los libros mencionados se indica que: “Los componentes del petróleo se separan mediante el proceso de destilación fraccionada”. Este proceso no permite separar elementos de un compuesto, se utiliza para separar componentes de mezclas.



En ocasiones los términos compuesto y mezcla se utilizan como sinónimos:

- “Uno de los compuestos orgánicos de mayor utilidad para el hombre es el petróleo... El petróleo es una mezcla de hidrocarburos diferentes”<sup>(94)</sup>.
- “El petróleo es una mezcla... El petróleo es un compuesto”<sup>(89)</sup>.

En los libros prácticamente no se habla de mezclas, pero lo expresado en uno de ellos<sup>(104)</sup> puede provocar que se considere a todas las mezclas, como homogéneas: “Sustancia: Clase particular de materia homogénea; puede ser elemento, compuesto o mezcla”. Existen mezclas homogéneas y heterogéneas.

También hay una pregunta en una actividad<sup>(80)</sup> que puede crear confusión en los alumnos: “Observa una reacción química” y en Resultados se pregunta: “¿Cuáles mezclas resultaron ser reacciones químicas?”.

## IV. IMPLICACIONES PARA EL APRENDIZAJE

En este capítulo se presentan los preconceptos más destacados identificados en el conjunto de los libros de texto analizados, se emplea el adjetivo “destacados” considerando que son creencias que repetidamente manifiestan los autores de los libros de texto, que usualmente son aceptados tal cual por los maestros de Biología y que al ser frecuentemente memorizados por los alumnos, impiden que posteriormente haya una adecuada comprensión de conceptos químicos fundamentales sobre la composición y naturaleza de la materia, lo cual repercute en la incompreensión de diversos fenómenos físicos, químicos y bioquímicos, como estados de la materia y cambios de estado, reacciones químicas, fotosíntesis, etc.

Como se mencionó en el capítulo II, hay que recordar que los preconceptos pueden ser firmemente retenidos por los estudiantes e impedir la comprensión de un determinado tema, pues con frecuencia son fuertemente resistentes al cambio. Por esta razón, es sumamente importante que desde la escuela elemental, se evite que el alumno adquiera estas creencias erróneas.

Tomando en cuenta lo mencionado, el papel que juegan los libros de texto y los maestros en la adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes, considero que esta tesis puede contribuir a mejorar el proceso a enseñanza-aprendizaje de conceptos químicos fundamentales, en profesores y estudiantes de cursos de Biología y Química, de secundaria, mediante los comentarios que a continuación se presentan sobre los preconceptos más destacados, recordando que al desarrollar el tercer capítulo se hicieron diversas aclaraciones y correcciones sobre términos y conceptos cuando se consideró conveniente.

### 4.1 COMENTARIOS SOBRE LOS PRECONCEPTOS MÁS DESTACADOS

#### 4.1.1 ÁTOMO

##### 1. Representación animista del átomo

La atribución de características humanas a los átomos, observada en algunos libros de texto, puede contribuir a que por ejemplo se considere que los enlaces químicos (representados por “brazos” entrelazados de los átomos “animados”) son materia, lo cual es incorrecto.

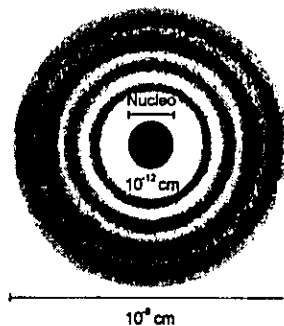
Los enlaces químicos son fuerzas que mantienen unidos a los átomos en las moléculas.

## 2. A los átomos se les representa como esferas sólidas

El átomo es fundamentalmente espacio vacío.

La mayoría de la masa y toda la carga positiva de un átomo radican en una muy pequeña y compacta región llamada núcleo; constituida por protones con carga positiva y neutrones que no tienen carga eléctrica. Alrededor del núcleo se mueven los electrones, los cuales poseen una carga negativa de igual magnitud a la carga positiva del protón.

El diámetro del átomo es aproximadamente diez mil veces más grande que el diámetro del núcleo.



Es conveniente aclarar que no se puede representar en un dibujo la diferencia entre estas magnitudes, a menos que se use escala logarítmica.

## 3. Representación con escala inadecuada del tamaño de las partículas del átomo

Los protones y los neutrones poseen prácticamente la misma masa, pero la de un electrón es aproximadamente  $1/2000$  la masa de un protón o de un neutrón.

## 4. Los términos nivel de energía, órbita, orbital, nube electrónica, capa y corteza se emplean indistintamente

Lo anterior manifiesta confusión en la denominación de las regiones en que se mueven los electrones alrededor del núcleo, utilizándose términos que corresponden a diferentes teorías o modelos atómicos:

El modelo de Bohr considera al electrón como una partícula bien definida, girando alrededor del núcleo en una órbita o trayectoria bien determinada, con un radio específico, que corresponde a un nivel de energía definido.

De acuerdo con la mecánica cuántica, desarrollada posteriormente, un orbital es una función matemática de la que se pueden inferir las regiones alrededor del núcleo en las que

hay mayor probabilidad de encontrar al electrón, sin permitir saber con precisión dónde se encuentra un electrón en un instante dado, ni tampoco la trayectoria precisa que está siguiendo. Se acostumbra representar la parte angular de la función matemática en forma de nubes electrónicas, a los cuales también corresponden determinados niveles de energía.

Los términos capa y corteza se utilizan con frecuencia al referirse a enlaces químicos y valencia, así se menciona por ejemplo que un ion se forma cuando un átomo acepta o desprende electrones de su corteza o que átomos no metálicos tienen tendencia a capturar electrones para completar su última capa.

Se denomina capa de valencia de un átomo al conjunto de electrones que participan en la formación de enlaces de cualquier tipo. Los electrones de esa capa reciben el nombre de electrones de valencia.

#### **5. Los neutrones poseen carga neutra ( $\pm$ )**

Los neutrones son partículas cuya carga eléctrica es nula.

#### **6. Existe confusión en cuanto a la formación de los enlaces iónicos y covalentes**

En ocasiones se generaliza que los átomos sólo se unen por transferencia de electrones, en otros casos que únicamente es por la compartición de los electrones.

Los enlaces iónicos son fuerzas de atracción entre iones con cargas eléctricas opuestas (positivas y negativas), que se formaron por pérdida o ganancia de electrones entre los átomos que se combinan entre sí. En cambio, los enlaces covalentes entre átomos se establecen por la compartición de pares de electrones.

#### **7. En la materia viva los átomos se unen por enlaces covalentes**

Los seres vivos están constituidos por compuestos formados por átomos unidos no sólo por enlaces covalentes, sino por otros tipos de uniones; como es el caso de enlaces iónicos que dan lugar a la formación del cloruro de sodio y otras sales, que se encuentran en los organismos, o bien, a la unión de grupos fosfato de ácidos nucleicos cargados negativamente con grupos amino de residuos de arginina y lisina cargados positivamente, en las proteínas.

#### **8. Ambigüedad sobre si es valencia de un átomo o de un elemento**

Valencia es la capacidad que posee un átomo para combinarse con otro y se refiere al número de electrones que se ceden o comparten en un enlace químico.

## 4.1.2 MOLÉCULA

### 1. La molécula es la unidad más pequeña de un elemento

Una molécula es la partícula más pequeña de una sustancia (elemento o compuesto) formada por dos o más átomos que se encuentran en proporciones constantes. Moléculas constituidas por varios átomos (de un solo elemento como la molécula de ozono,  $O_3$ , o de varios elementos, como la del agua,  $H_2O$ ) o incluso por miles de átomos (como las de las proteínas).

### 2. Los seres vivos están constituidos sólo por moléculas orgánicas

Este enunciado es incorrecto pues el agua, que no es una molécula orgánica, es la sustancia más abundante en las células, constituyendo del 70 al 90 % del peso de la célula. Además, en los organismos también se encuentran sales inorgánicas como el cloruro de sodio, e incluso ácidos inorgánicos como el ácido clorhídrico que forma parte del jugo gástrico.

## 4.1.3 ELEMENTO

### 1. Un elemento está constituido por átomos de un solo tipo

La definición tradicional de que un elemento consiste de átomos idénticos o de un mismo tipo, ya no es vigente pues muchos elementos consisten de mezclas de diferentes isótopos (átomos del mismo elemento que poseen diferente cantidad de neutrones, es decir, tienen diferente masa atómica), que poseen propiedades físicas ligeramente diferentes.

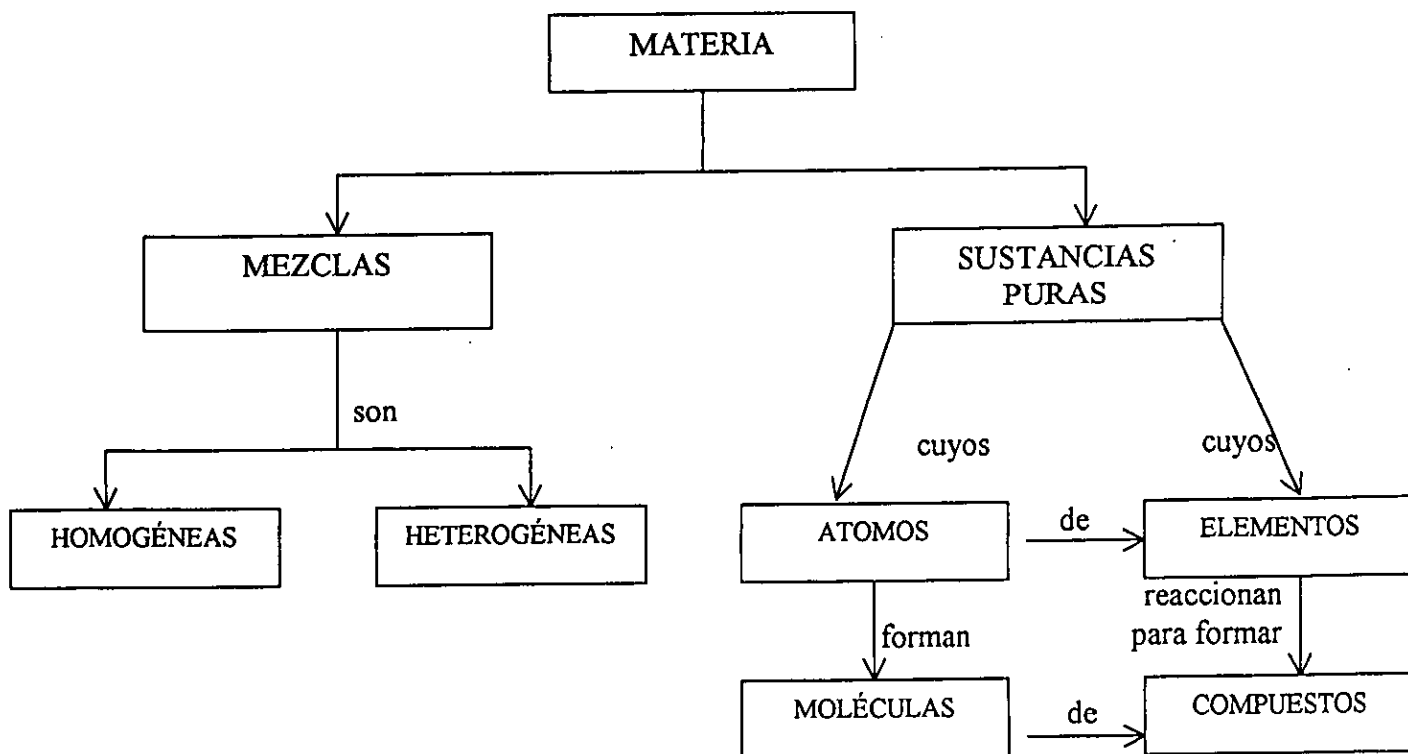
Un elemento químico consiste de átomos, los cuales tienen el mismo número de protones en su núcleo, es decir, tienen el mismo número atómico.

### 2. Relación elemento- molécula en lugar de elemento-compuesto

La clasificación de la materia puede efectuarse a dos niveles:

- A nivel macroscópico, la materia consiste de elementos, compuestos y mezclas.
- A nivel microscópico, la materia consiste de átomos, iones y moléculas.

Lo anterior podría esquematizarse así:



### 3. Número de elementos químicos naturales

En la Tierra existen alrededor de 90 elementos y aunque actualmente se conocen mas de cien elementos, algunos han sido sintetizados por el ser humano.

La importancia de un elemento no depende necesariamente de su abundancia en la naturaleza. Los oligoelementos, como el cromo, se encuentran en el organismo humano en cantidades infinitamente pequeñas, sin embargo, son indispensables para su adecuado crecimiento y desarrollo.

### 4. El agua es un elemento

El agua es un compuesto no un elemento químico desde el punto de vista actual, pues está formada por dos elementos químicos: el hidrógeno y el oxígeno.

Hoy día se considera que un elemento es una sustancia constituida por átomos con el mismo número atómico, es decir, con el mismo número de protones.

Cuando se menciona que el agua es un elemento, quizás se hace referencia a la concepción por la cual para los griegos, los elementos eran “ingredientes” a partir de los cuales se formaba todo lo que existía sobre la Tierra. Así, 450 años antes de nuestra era, Empédocles consideró al fuego, al aire, al agua y a la tierra, como los cuatro elementos de los cuales toda la materia estaba constituida.

#### **4.1.4 COMPUESTO**

##### **1. Los seres vivos únicamente están constituidos por compuestos orgánicos**

Ampliando el comentario sobre el punto 2 de este capítulo, en relación al término molécula, es importante recalcar que aunque los compuestos orgánicos (proteínas, carbohidratos, lípidos, hormonas y otros) son sumamente importantes para la formación y conservación de la materia viva, también existen en ella compuestos inorgánicos indispensables para el adecuado crecimiento y desarrollo de los seres vivos.

##### **2. Los compuestos orgánicos tienen vida, los inorgánicos, no**

Es importante aclarar que una sustancia por sí sola no tiene vida.

Probablemente esta creencia tiene su origen en la llamada “Teoría Vitalista” (siglo XIX), que establecía que los compuestos orgánicos eran llamados así, porque sólo eran producidos por los organismos vivos, gracias a una fuerza vital que poseían y que les permitía elaborarlos. Se pensaba que los productos elaborados por animales y plantas eran esencialmente diferentes de la materia inanimada. Estas ideas originaron la clasificación de la Química en orgánica (la de los seres vivos) e inorgánica (la de los materiales de la corteza terrestre). Esta división se mantiene en la actualidad, con fines didácticos exclusivamente, aunque sabemos que no existe una diferencia esencial entre ambos tipos de compuestos.

##### **3. El término fórmula se emplea en lugar del término ecuación**

Una fórmula química es la representación simbólica de la molécula de un compuesto químico. Una fórmula está compuesta por símbolos, que representan a los elementos cuyos átomos entran a formar parte de la molécula, y por subíndices, que indican el número de átomos de cada elemento que constituyen la molécula. Así, la fórmula del agua es  $H_2O$ .

Una reacción química es un proceso mediante el cual, una o varias sustancias llamadas reactivos, se transforman en otra u otras sustancias, llamadas productos. La ecuación química es una forma de representar una reacción química utilizando las fórmulas de las sustancias que intervienen en el cambio.

Así, la ecuación química mediante la cual se expresa la respiración es:



#### 4.1.5 MEZCLA

##### 1. Los términos compuesto y mezcla se utilizan como sinónimos

Los compuestos son sustancias homogéneas formadas por moléculas, que contienen átomos de diferentes elementos, unidos por enlaces químicos. Las propiedades de un compuesto son diferentes de las de los elementos que lo constituyen. La proporción de sus constituyentes es fija, razón por la cual los compuestos pueden representarse mediante fórmulas, ejemplos: el agua,  $\text{H}_2\text{O}$ ; la glucosa,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ .

Las mezclas, las cuales pueden ser homogéneas o heterogéneas, constan de dos o más sustancias, cada una de las cuales conserva sus propiedades características. La proporción de sus constituyentes es variable, razón por la cual las mezclas no pueden representarse mediante fórmulas, ejemplos: el petróleo, el agua potable, el agua de mar.

##### 3. El petróleo es un compuesto

El petróleo no es un compuesto, es una mezcla.

Considerando las explicaciones del punto anterior sobre mezclas, en cuanto a que los constituyentes de una mezcla están en proporciones variables, se puede mencionar que una demostración de que el petróleo es una mezcla, consiste en recordar que existen diferentes tipos de petróleo (del Golfo, Maya, del Mar del Norte, etc.), dependiendo de la proporción en que se encuentran sus constituyentes (gasolina, queroseno, diesel, etc.), los cuales se obtienen a partir del petróleo mediante el proceso de destilación fraccionada.

Es importante eliminar confusiones sobre las características y propiedades de mezclas y compuestos.



## V. REFLEXIONES FINALES

Aunque este capítulo podría enfocarse a expresar una serie de recomendaciones para mejorar la elaboración de los libros de texto de Biología, para seleccionar su adquisición y para optimizar su uso en el salón de clase, el análisis de los 26 libros de texto de Biología permitió detectar por qué una gran parte de los profesionales de la Biología y estudiantes de secundaria, carecen de los conocimientos adecuados para el desarrollo de temas relacionados con conceptos químicos fundamentales.

Así, a un maestro que se encuentra en la situación mencionada,

- ¿Cómo recomendarle que escoja el libro de texto de Biología que va a utilizar en el salón de clase, basándose en el análisis de su contenido con respecto a esos conceptos químicos?
- ¿Cómo pedirle que seleccione los conceptos más importantes para que el alumno comprenda la composición y naturaleza de la materia, evitando que el estudiante se pierda ante gran cantidad de términos y conceptos carentes de sentido para él.
- ¿Cómo puede cooperar con el alumno para que analice la información que recibe, evitando que la memorice indiscriminadamente?
- ¿Cómo motivarlo para que profundice los conceptos importantes (definiéndolos, explicándolos y relacionándolos) para que los alumnos los comprendan?
- ¿Cómo sugerirle que antes de iniciar la explicación de estos conceptos, interroge a sus alumnos para detectar sus conocimientos previos, para ampliarlos o modificarlos?
- ¿Cómo aconsejarle que sea cuidadoso en el uso del lenguaje al referirse a términos, a los cuales el alumno les asigna significados informales por sus experiencias diarias, que le crean conflicto cuando los usa en el contexto científico, como es el caso de los términos elemento y partícula?
- ¿Cómo puede detectar problemas conceptuales en los libros relacionados con estos conceptos?
- ¿Cómo puede explicarle al estudiante dibujos o diagramas que están señalados inadecuadamente o son complejos y difíciles de entender?

Lo anterior debe provocar la reflexión sobre la necesidad de que en el plan de estudios de la carrera de Biología, se incluyan cursos gracias a los cuales los biólogos adquieran un nivel adecuado de conocimientos sobre la composición y naturaleza de la materia, con el propósito de que comprendan más profundamente diversos procesos bioquímicos y fisiológicos, tales como la respiración y la nutrición; gracias a lo cual podrán cumplir con mayor responsabilidad su actividad docente en caso necesario.

Obviamente es aconsejable que se actualicen en sus conocimientos sobre estos conceptos, los autores de los libros de texto de Biología y los profesores que imparten la materia en secundaria.

Es indispensable que las autoridades correspondientes de la Secretaría de Educación Pública, nombren a especialistas para que efectúen una adecuada revisión de los libros de texto de Biología, en cuanto a su contenido de conceptos químicos antes de autorizarlos para su publicación.

## REFERENCIAS

1. Abraham, M.R., Grzibowski, E.B., et al. (1992). Understanding and Misunderstanding of Eight Graders of Five Chemistry Concepts Found in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 29 (2), 105-120.
2. Abraham, M.R., Williamson, V.M. and Westbrook, S.L. (1994). A Cross-Age Study of the Understanding of Five Chemistry Concepts. *Journal of Research in Science Teaching*. 31 (2), 147-165.
3. Andersson, B. (1986). Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions. *Science Education*. 70(5), 549-563
4. Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*. 18,53-85
5. Ault, C.R., Novak, J.D. and Gowin, D.B. (1984). Constructing Vee Maps for Clinical Interviews on Molecule Concepts. *Science Education*.68 (4), 441-462.
6. Ausubel, D.P. , Novak, J.D. and Hanesian, H. *Educational psychology: a cognitive view* (2nd. ed.) New York: Holt, Rivehart & Winston, 1978.
7. Baier, J., Breit, J. et al. (November 1982). On selecting a new text. A symposium. *The Physics Teacher*. 524-529
8. Baker (1991). Textbooks and Text Comprehension . *Science Education*. 75 (3), 359-367.
9. Bargellini, A. and Riani, P. (1991). Children's conceptions in Chemistry at elementary school level and some implications for inservice training of teachers. *European Journal of Teacher Education*. 14 (1), 9-18.
10. Barrass, R. (1984). Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of Biology. *Journal of Biological Education*.18 (3), 201-206.
11. Barroso, F., López L. y otros. (1993). Ideas de los alumnos sobre aspectos básicos de Química. *Enseñanza de las Ciencias*. Núm. Extra. (IV Congreso), 211-212.
12. Beishnizen, J., Stontjesdijk, E. and Van Putten, K. (1994). Studying Textbooks: Effects of Learning Styles, Study Task and Instruction. *Learning and Instruction*. 4, 151-174.
13. Ben-Zvi, R., Eylon, B-S. and Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education*. 63 (1), 64-66.
14. Bullejos, J., de Manuel, E. y Furió, C. (1993). ¿Sustancias simples y/o elementos? Usos del término elemento químico en los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, Núm. Extra (IV Congreso), 217-218
15. Chiang-Soong, B. and Yager, R.E. (1993). The Inclusion of STS Material in the Most Frequently Used Secondary Science in the U.S. *Journal of Research in Science Teaching*. 30 (4), 339-349.
16. Chiapetta, E.L., Fillman, D.A. and Sethna, G.H. (1991). A Method to Cuantify Major Themes of Scientific Literacy in Science Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 28 (8), 713-725.
17. Chiapetta, E.L., Sethna, G.H. and Fillman, D.A. (1991).A Quantitative Analysis of High School Chemistry Textbooks for Scientific Literacy Themes and Expository Learning Aids. *Journal of Research in Science Teaching*. 28 (10), 939-951.

18. Chiapetta, E.L. Sethna, G.H. and Fillman, D.A. (1993). Do Middle School Life Science Textbooks Provide a Balance of Scientific Literacy Themes? *Journal of Research in Science Teaching*. 30(7), 787-797.
19. Cho, H.H., Butler K., and Nordland, F.H. (1985). An Investigation of High School Biology Textbooks as Sources of Misconceptions and Difficulties in Genetics and Some Suggestions for Teaching Genetics. *Science Education*. 69 (5), 707-719.
20. Cros, D., Chastrette, M., et al (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*. 10 (3), 331-336.
21. De Posada A., J.M. (1993). Concepciones de los alumnos de 15-18 años sobre la estructura interna de la materia en el estado sólido. *Enseñanza de las Ciencias*. 11 (1), 12-19.
22. Eltinge, E.M. and Roberts, C.W. (1993). Linguistic Content Analysis: A Method to Measure Science an Inquiry in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 30 (1), 65-83.
23. Gabel, D.L. (1983). What High School Chemistry Text Do Well and What They Do Poorly. *Journal of Chemical Education*. 60 (10), 893-895.
24. Gabel, D.L. and Samuel, K.V. (1987). Understanding the Particulate Nature of the Matter. *Journal of Chemical Education*. 64 (8), 695-697.
25. Gabel, D. L. (1989). Let us go back to nature study. *Journal of Chemical. Education*. 66 (9), 727-729.
26. Gillespie, R.J. (1997). Reforming the General Chemistry Textbook. *Journal of Chemical Education*. 74 (5), 484-485.
27. Gottfried, S.S. and Kyle, W.C. (1992). Textbooks Use and the Biology Education Desired State. *Journal of Research in Science Teaching*. 29 (1), 35-49.
28. Griffiths, A.K. and Preston, K.R. (1992). Grade-12 Students Misconceptions Relating to Fundamental Characteristics of Atoms and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*. 29 (6), 611-628.
29. Haidar, A. H. and Abraham, M.R. (1991). A Comparison of Applied and Theoretical Knowledge of Concepts Based on the Particulate Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*. 28(10), 919-938.
30. Hamm, M. and Adams, D. (1989). An Analysis of Global Problem Issues in Sixth -and Seventh- Grade Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 26 (5), 445-452.
31. Hesse , J.J. and Anderson, C.W. (1992). Students' Conceptions of Chemical Change. *Journal of Research in Science Teaching*. 29 (3), 277-299.
32. Hierrezuelo, M.J. y Montero, M.A. (1989). La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y Química. Editorial Elzevir: Vélez-Málaga.
33. Jones, B.L. and Lynch, P.P. (1989). Children's understanding of the notions of solid and liquid in relation to some common substances. *International Journal of Science Education*. 11 (4), 417-427.
34. Keig, P.F. (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationships to reasoning, gender, spatial reasoning and specific prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*. 30 (8), 883-903.

35. Knel, D., Watson, R. and Glazar, S.A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of matter. *International Journal of Science Education*. 20 (3), 257-289
36. Lee, O., Eichinger, D.C. et al. (1993). Changing Middle School Students Conceptions of Matter and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*. 30 (3), 249-270.
37. Lloyd, C.V. (1990). The Elaboration of Concepts in Three Biology Textbooks: Facilitating Student Learning. *Journal of Research in Science Teaching*. 27 (10), 1019-1032.
38. Loeffler, P.A. (1989). Fundamental concepts in the teaching of chemistry. *Journal of Chemical Education*. 66 (11), 928-930.
39. López V., S.J. (1993). Mejorando la efectividad instruccional del texto educativo en ciencias: Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*. 11 (2), 137-148.
40. Lyman, D.G., L. and Willett, J.B. (1995). What High School Biology Teachers Say about Their Textbooks Use: A Descriptive Study. *Journal of Research in Science Teaching*. 32 (2), 123-142.
41. Maskill, R. (1997). Young pupils' ideas about the microscopic nature of matter in three different European countries. *International Journal of Science Education*. 19 (6), 631-645.
42. Meyer, L.A., Crummey, L. and Greer, E.A. (1988). Elementary Science Textbooks: Their Contents, Text Characteristics, and Comprehensibility. *Journal of Research in Science Teaching*. 25 (6), 535-463.
43. Michinel, J.L. y D'Alessandro, A. (1994). El concepto de energía en los libros de texto: De las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*. 12 (3), 369-380.
44. Mondelo A. M., García, B.S. y Martínez L.C. (1994). Materia inerte/materia viva ¿Tienen ambas constitución atómica? *Enseñanza de las Ciencias*. 12(2), 226-233.
45. Mortimer, E.F. (1998). Multivoicedness and univocality in classroom discourse: An example from theory of matter. *International Journal of Science Education*. 20 (1), 67-82.
46. Musheno, B.V. and Lawson, A. (1999). Effects of Learning Cycle and Traditional Text on Comprehension of Science Concepts by Students at Differing Reasoning Levels. *Journal of Research in Science Teaching*. 36 (1), 23-37.
47. Nakhleh, M.B. (1992). Why some students don't learn Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 69 (3), 191-195.
48. Newton, D.P. (1983). The sixth-form Physics Textbook 1870 - 1980. Part 1. *Physics Education*. 18 (3), 192-198.
49. Novick, S. and Nussbaum, J. (1978). Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study. *Science Education*. 62 (3), 273-281.
50. Novick, S. and Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*. 65 (2), 187-196.
51. Peeck, J. (1993). Increasing Picture Effects in Learning from Illustrated Text. *Learning and Instruction*. (3), 227-238.
52. Potter, E.F. and Rosser, S.V. (1992). Factors in Life Science Textbooks that may deter Girls' Interest in Science. *Journal of Research in Science Teaching*. 29 (7), 669-686.

53. Pozo, J.I. y otros (1991). Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química. Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia: C.I.D.E. Madrid, España.
54. Pozo L., A. y Llorens M., J.A. (1993). Análisis de la introducción del concepto de mol a través de los manuales escolares. Enseñanza de las Ciencias. Número Extra (IV Congreso), 265-266.
55. Prieto, T., Blanco, A. y Rodríguez, A. (1989). The ideas of 11 to 14-years-old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education*. 11(4), 451-463
56. Renner, J.W., Abraham, M.R. et al (1990). Understandings and Misunderstandings of Eight Graders of Four Physics Concepts Found in Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 27 (1), 35-54.
57. Roundy, W. (1989). What is an element? *Journal of Chemical Education*. 66 (9), 729-730.
58. Santelices, C., L. (1990). La comprensión de lectura en textos de ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias*. 8(1), 59-64.
59. Sanz, A., Gómez Crespo, M.A. y Pozo, J.I. (1993). Influencia de la instrucción en la utilización del modelo de partículas. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra (IV Congreso), 281-282.
60. Shepardson, D.P. and Pizzini, E.L. (1991). Questioning levels of junior high school science textbooks and their implications for learning textual information. *Science Education*. 75 (6), 673-682.
61. Shiland, T.W. (1997). Quantum Mechanics and Conceptual Change in High School Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 34 (5), 535-545.
62. Shusterman, G.P. and Shusterman, A.J. (1997). Teaching Chemistry with Electron Density Models. *Journal of Chemical Education*. 74 (7), 771-776.
63. Shymansky, J.A., Yore, L.D. and Good, R. (1991). Elementary School Teachers Beliefs About and Perceptions of Elementary School Science, Science Reading, Science Textbooks, and Supportive Instruccional Factors. *Journal of Research in Science Teaching*. 28 (5), 437-454.
64. Slone, M. and Bokhurst, F.D. (1992). Children understanding of sugar water solutions. *International Journal of Science Education*. 14 (2), 221-235.
65. Smith, K.J. and Metz, P.A. (1996). Evaluating Student Understanding of Solution Chemistry Through Microscopic Representations. *Journal of Chemical Education*. 73 (3), 233-235.
66. Solaz Portolés, J.J., Vidal-Abarca, E. y San José, V. (1993). Análisis didáctico, epistemológico e histórico de la introducción de modelos atómicos en los textos de 2o. de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra (IV Congreso), 283-284.
67. Staver, J.R. and Lumpe, A.T. (1993). A Content Analysis of the Presentation of the Mole Concept in Chemistry Textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 30 (4), 321-337.
68. Stavridou, H. and Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena - chemical phenomena: do pupils make the distinction? *International Journal of Science Education*. 11 (1), 83-92.

69. Stavy, R. (1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*. 10 (5), 553-560.
70. Stinner, A. (1992). Science Textbooks and Science Teaching: From Logic to Evidence. *Science Education*. 76 (1), 1-16.
71. Storey, R.D. (1990). Textbook errors & misconceptions in Biology: cell structure. *The American Biology Teacher*. 52 (4), 213-218.
72. Stucke, A. and Gannaway, S.P. (1996). New Literature Suggests that We Don't Have to Teach Everything in the Textbook. *Journal of Chemical Education*. 73 (8), 773-775.
73. Thiele, R.B. and Treagust, D.F. (1995). Analogies in Chemistry Textbooks. *International Journal of Science Education*. 17 (6), 783-795.
74. Treagust, D.F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students's misconceptions in science. *International Journal of Science Education*. 10 (2), 159-169.
75. Vázquez Alonso, A. (1990). Concepciones alternativas en Física y Química de Bachillerato: Una Metodología Diagnóstica. *Enseñanza de las Ciencias*. 8 (3), 251-258.
76. Veiga, M.L. (1989). Teachers' language and pupils' ideas in science lessons: Can teachers avoid reinforcing wrong ideas? *International Journal of Science Education*. 11 (4), 465-479.
77. Wandersee, J.H. (1988). Ways Students Read Texts. *Journal of Research in Science Teaching*. 25 (1), 69-84.
78. Zoller, U. (1990). Students' misunderstandings and misconceptions in college freshman chemistry (general and organic). *Journal of Research in Science Teaching*. 27 (10), 1053-1065.

## LIBROS DE TEXTO ANALIZADOS

79. Acosta, Ma. De la L. González Zavala, A., Mendoza, O. *Biología Activa*. Segundo Grado. Editorial Trillas. México, 1994.
80. Andrade Salas, L., Ponce Salazar, R. *Biología 2*. Editorial Nuevo México. México, 1999.
81. Archundia Aguilar, L., Cardoso Sánchez, J., García Fuentes, M. *Guía para el libro de Apoyo Didáctico. Biología 2*. Secretaría de Educación, Cultura y Bienestar social del Estado de México, 1997.
82. Barahona Echevarría, A., Suárez Díaz, E. *Biología*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México, 1995.
83. Batalla Zepeda, M., Méndez Ramírez, H. *Biología 2*. Editorial Kapelusz Mexicana. México, 1994.
84. Beltrán Martínez de Castro, M. *El Mundo Vivo 1*. Fernández Editores. México, 1994.
85. Beltrán Martínez de Castro, M. *El Mundo Vivo 2*. Fernández Editores. México, 1994.
86. Fajardo Rojo, A., Sotomayor Soriano, M., Castaño Arriaga, S. *Guía para el libro de apoyo didáctico. Biología 1*. Secretaría de Educación, Cultura y Bienestar Social del Estado de México, 1997
87. González Izquierdo, A. *Biología Segundo Curso*. Publicaciones Cultural. México, 1994.
88. Ibarra Montenegro, J., Fernández Rincón, M. *Científicos 1. Biología*. Norma Ediciones. Colombia, 1997
89. Infante Cosío, H., Hernández Valverde, G. *Biología 2*. Editorial Santillana. México, 1998.
90. Limón Orozco, S., Mejía Núñez, J., Terrazas Vargas J. *Biología 2*. Ediciones Castillo. México, 1995.
91. Lira Galera, I., Márquez López Velarde, M. *Biología 1*. Editorial Patria. México, 1994.
92. Lira Galera, I., Márquez López Velarde, M. *Biología 2*. Editorial Patria. México 1998
93. Martínez M., Cortés, L., Luján, E., *Maravillas de la Biología 1*. EPSA-Ediciones Pedagógicas, S.A. México, 1994.
94. Martínez M., Cortés, L., Luján, E., *Maravillas de la Biología*. Segundo Grado. Mc Graw – Hill. México, 1999
95. Pérez Montfort, I., Piñón Flores, G. *Biología 2*. Fondo de Cultura Económica. México, 1995.
96. Ramos Fumagalli, G., Ramos Fumagalli, M. *Biología Práctica 2*. Fernández Editores. México, 1998.
97. Rincón Arce, A., Membrillo P., Fausto y otros. *ABC de la Biología*. Grupo Herrero. México, 1996.
98. Robles Mendoza, C., Aréchiga Estrada, F. *Biología. La Vida en una palabra*. Primer Grado. Ediciones Pedagógicas. México, 1999
99. Rosado, D. *Biología. Segundo Grado*. Editorial Trillas. México, 1994
100. Sainz Cañedo, L., Saldaña Montemayor, Y., Sainz Almazán, K. *Biología 1. La dinámica de la vida*. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México, 1995.