

01076



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
PROGRAMA DE POSGRADO EN PEDAGOGÍA

INFLUENCIA DEL CAMPO DISCIPLINARIO EN EL
CONOCIMIENTO QUE ESTUDIANTES DE CARRERAS
CIENTÍFICAS DE LA UNAM POSEEN REFERENTE
A LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA.

T E S I S

Que para obtener el título de Maestra en Pedagogía

Presenta:

CLARA ROSA MARÍA ALVARADO ZAMORANO

Director de Tesis:

Dr. Plinio Sosa Fernández

FAC. DE FILOSOFÍA Y LETRAS

México, D. F.



2004



COMISION DE
ESTUDIOS DE POSGRADO



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

**A mi Madre, por su presencia.
A mi Padre, en su memoria.**

A Ricardo, Guadalupe y Carlos.

**A los Drs. P. Sosa, A. Garritz,
R. Pérez Benítez, T. Durán y a
la Mtra. M. Corenstein, por
sus enseñanzas y motivación.**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. LA CIENCIA Y EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	9
1.1 Reflexiones sobre la ciencia.	9
1.2 Características del conocimiento científico.	13
1.3 Enseñanza y aprendizaje del conocimiento científico.	22
1.3.1 Influencia del libro de texto.	24
1.3.2 Importancia de los preconceptos.	28
1.3.3 Importancia de las analogías y los modelos.	29
1.3.4 Influencia del contexto, la interacción y el discurso en el aula.	31
CAPÍTULO II. LOS CAMPOS DISCIPLINARIOS	37
2.1 Características de los campos disciplinarios.	39
2.2 Clasificación de las disciplinas científicas.	46
2.3 Las carreras de Biología, Física y Química en la UNAM.	51
2.3.1 Biología	51
2.3.2 Física	51
2.3.3 Química	52
CAPÍTULO III. IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA	53
3.1 En fenómenos y procesos biológicos.	55
3.2 En fenómenos y procesos físicos.	55
3.3 En fenómenos y procesos químicos.	55

3.4 Problemas conceptuales referentes a la estructura de la materia hallados en la bibliografía.	57
3.4.1 A nivel bachillerato.	60
3.4.2 A nivel universidad y de aspirantes a profesor.	64
3.4.3 A nivel de profesores de ciencias y de autores de libros de texto científicos.	68
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	73
4.1 Diseño y etapas del desarrollo de la investigación.	73
4.2 Población y muestra.	74
4.3 Instrumento de investigación.	75
4.4 Aplicación del instrumento de investigación.	77
4.5 Validación del instrumento de investigación.	78
CAPÍTULO V. RESULTADOS	79
5.1 Presentación y análisis de los resultados.	79
5.2 Principales problemas conceptuales detectados en los alumnos de las carreras de Biología, Física y Química de la UNAM.	127
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	131
6.1 Principales hallazgos comparativos obtenidos en relación al conocimiento del tema dependiendo de la carrera de los alumnos.	131
6.2 Conclusiones acerca del tema investigado.	139

REFERENCIAS	139
-------------	-----

APÉNDICES

Apéndice 1. Instrumento de investigación	149
Apéndice 2. Conceptos centrales de la estructura de la materia	153
Apéndice 3. Listado de gráficas	158
Apéndice 4. Listado de tablas	159
Apéndice 5. Listado de figuras	161

INTRODUCCIÓN

En la actualidad vivimos en una sociedad en la cual el conocimiento en el área de las ciencias es cada vez más especializado. Aunque existe diferenciación entre sus objetivos, problemas, métodos y habilidades, disciplinas científicas como la Química, la Física y la Biología, comparten el conocimiento de algunos conceptos fundamentales como los relacionados con la composición y estructura de la materia. Así, el avance de los procedimientos e interpretación de los conceptos de una rama de la ciencia influyen en el desarrollo de otras, por lo cual es conveniente que exista un adecuado nivel de comprensión de términos y conceptos afines. Cuando un mismo concepto se enseña en las aulas a estudiantes de diferentes disciplinas científicas, debe considerarse que la validez del conocimiento debe ser independiente de los atributos personales, culturales y nacionales de los científicos.

Dada la naturaleza acumulativa del conocimiento en ciencias como la Física, la Química y la Biología, las ideas preexistentes con que ingresan los estudiantes a la carrera juegan un papel importante en el desarrollo posterior del conocimiento de los estudiantes. Esas ideas en muchos casos son incompletas y en otros, incorrectas; sin embargo, con frecuencia son muy coherentes entre sí, consistentes y difíciles de modificar. Los estudiantes empiezan a construir sus ideas desde pequeños al tratar de entender el mundo en el que viven, relacionándolas con sus experiencias cotidianas. Si el conocimiento científico se construye sobre bases equivocadas, deformadas o incompletas, no será asimilado adecuadamente por los estudiantes: lo que aprendan, lo aprenderán mal o lo olvidarán fácilmente.

En el aula universitaria (y aún dentro de otros niveles educativos) los profesores de un determinado campo disciplinario, mediante la selección de contenidos y libros de texto, y su discurso e interacción con sus alumnos, contribuyen en forma destacada a que éstos también adquieran contenidos según la disciplina de que se trate.

La comprensión de conceptos fundamentales relacionados con la composición y estructura de la materia, es indispensable para entender diversos fenómenos y procesos físicos, químicos y biológicos como: fusión y fisión nuclear; radiactividad; disolución; estados de la materia y cambios de estado; reacciones químicas y enlace químico; fotosíntesis y respiración; ciclo de nutrientes en ecosistemas; metabolismo; etc. Sin embargo, representa un serio problema para

numerosos alumnos, aún entre graduados en Biología, Física y Química, pese a que la composición y estructura de la materia es un tema central en la mayoría de los currícula de ciencias, desde el nivel elemental hasta el nivel superior. Existen diversas razones para explicar las dificultades de los alumnos para la comprensión de estos conceptos. Así, por ejemplo:

- Los conceptos de sustancia, elemento, compuesto y mezcla (a nivel macroscópico) y de átomo, ión y molécula (a nivel microscópico) son fundamentales para caracterizar y comparar los estados inicial y final de cualquier cambio de la materia, por lo cual su carácter abstracto y sus cerradas interrelaciones requieren que los alumnos operen en los niveles macroscópico, atómico – molecular y simbólico, lo cual no es fácil para ellos. La percepción juega un papel importante porque los estudiantes observan las características y fenómenos de la materia a nivel macroscópico, mientras que se requiere que los entiendan y expliquen a nivel microscópico.
- Los átomos y las moléculas se caracterizan por su naturaleza nanoscópica, por lo cual con relación a la constitución corpuscular de la materia, los alumnos no tienen concepciones basadas en evidencia cotidiana, siendo para ellos conceptos abstractos que requieren de su habilidad de razonamiento formal.
- Para explicar entidades no observables como átomos, iones y moléculas, los maestros y libros de texto recurren a analogías, metáforas y modelos, los cuales en muchos casos son confusos para los estudiantes, pues no se aclara la relación entre modelo y realidad, lo cual provoca que para los alumnos “un modelo es la realidad”.
- Otro problema que se tiene con relación al aprendizaje de estos conceptos es que frecuentemente los alumnos aprenden sus definiciones, pero no sus alcances y aplicaciones.
- La interferencia del lenguaje cotidiano y del contexto cultural y disciplinario, en la adquisición de la precisión semántica requerida por los conceptos científicos da lugar al empleo de términos en forma imprecisa o ambigua, tal es el caso de la palabra “elemento” que a veces tiene diferente significado en el contexto químico que en el biológico, así un oceanógrafo con cierta frecuencia se refiere al agua, que químicamente es un compuesto, como el elemento indispensable para los seres vivos; los biólogos con mayor facilidad relacionan al núcleo con la célula, los físicos con el átomo.

Las líneas teórico-pedagógicas que sugiero aplicar en el aula, para contribuir a resolver la problemática de la adquisición del conocimiento de la composición y estructura de la materia, y

en general de diversos conceptos científicos, se ubican dentro de un nuevo enfoque conocido como “Psicología cognitiva”, la cual comprende diversos campos de investigación en psicología como la memoria, la atención, la inteligencia, etcétera, abarcando incluso el estudio de la interacción social y de las emociones, y cuya representación más clara es el “procesamiento de información”, basado en una analogía entre el funcionamiento de la mente humana y las computadoras digitales (Pozo, 1999). Dentro de estas líneas considero conveniente destacar las siguientes:

1) El Aprendizaje Significativo de Ausubel (Ausubel, Novak y Hanesian, 1978; Pozo y Gómez Crespo, 2000), que establece que para que tenga lugar la comprensión de un concepto, deben cumplirse ciertas condiciones como:

- Sólo pueden comprenderse aquellos materiales que estén internamente organizados de forma que cada elemento de información tenga una conexión lógica o conceptual con otros elementos, por ejemplo, la organización de la tabla periódica no como una lista arbitraria de elementos, sino como un mapa de la estructura atómica de los elementos químicos que constituyen la materia.
- El vocabulario y terminología del material de aprendizaje deben estar adaptados al alumno.
- El aprendiz debe relacionar el nuevo material de aprendizaje con la estructura de conocimientos de que ya dispone, modificándola para que surja un nuevo conocimiento.
- Debe tomarse en cuenta la motivación de los alumnos.

2) El Constructivismo (Coll, 1996), que es una corriente de pensamiento pedagógico que da prioridad al acto de aprender y sostiene que:

- El conocimiento no se recibe pasivamente, sino que es procesado y construido interna y activamente por el sujeto cognoscente.
- El conocimiento humano es una representación mental, fruto de la permanente interacción del sujeto (el conocedor) y el objeto (lo conocible).
- Confronta las ideas y preconceptos afines al tema por aprender, con el nuevo concepto científico que se enseña.

- Aplica el nuevo concepto a situaciones concretas y lo relaciona con otros conceptos de la estructura cognitiva con el fin de ampliar su transferencia.
- El profesor es un facilitador del aprendizaje, dando importancia a cómo aprende el alumno y enseñando a sus alumnos a aprender para posibilitar sus interaprendizajes y autoaprendizajes.
- En el aprendizaje del conocimiento científico, se asume que todos los modelos y teorías son una construcción o invención social en respuesta a ciertas demandas o necesidades prácticas y teóricas, y que la ciencia no es un discurso sobre lo real sino sobre modelos posibles. Conocer no es descubrir la realidad, es elaborar modelos alternativos para interpretarla o confrontar lo que percibimos con los modelos que nos son familiares o en los que creemos.

3) El Conflicto Cognitivo y el Cambio Conceptual.

Una de las principales consecuencias de la investigación sobre los problemas conceptuales que poseen los alumnos (ideas previas) establece la necesidad de modificar estas ideas para lograr un mejor aprendizaje de los conceptos científicos. Esta necesidad llevó al reconocimiento de que las prácticas habituales de enseñanza son ineficaces y que se requiere transformar también el enfoque y la concepción de lo que es el aprendizaje de la ciencia. En la búsqueda por encontrar formas de lograr un cambio conceptual, pronto se identificó que la situación era mucho más compleja que pretender una sustitución de ideas previas por ideas “científicamente correctas”.

Por lo anterior, se consideró conveniente partir de las concepciones alternativas de los alumnos y confrontarlas con situaciones conflictivas para lograr un cambio conceptual, entendiendo éste como la sustitución de aquellas concepciones por otras teorías más cercanas al conocimiento científico (Strike y Posner, 1992). Aunque debe ser el propio alumno el que tome conciencia de ese conflicto y lo resuelva, los profesores pueden utilizar todos los recursos expositivos y no expositivos a su alcance, para hacer ver al alumno las insuficiencias de sus propias concepciones.

En torno al problema del cambio conceptual se han propuesto diferentes enfoques teóricos y aún epistemológicos. Por ejemplo, Strike & Posner (1985, 1992) presentan un enfoque epistemológico centrado en la transformación, inspirado por la propuesta de las revoluciones científicas de Kuhn y de los programas de investigación de Lakatos.

Todos los enfoques anteriores le asignan un papel específico a las ideas previas, siendo no sólo el inicio sino también la guía en los procesos de transformación.

Es importante tener en cuenta que las transformaciones de las ideas previas no son un proceso abrupto, por el contrario, son un proceso lento, gradual. Es necesario reconocer que las posibles transformaciones de las ideas previas no ocurren de manera aislada. Intervienen en él, diversos factores entre los que se puede mencionar el contexto, el nivel de comprensión de los conceptos, si son relaciones causales o funcionales, por sólo mencionar algunos.

En México, la investigación sobre la educación en las ciencias naturales es muy incipiente, la población estudiantil mexicana se ha analizado escasamente por lo que no se conoce adecuadamente su nivel de comprensión de conceptos científicos, siendo clara la necesidad de llevar a cabo estudios que a profesores e investigadores les proporcionen información que contribuya a mejorar el proceso de enseñanza – aprendizaje de tales conceptos en el aula.

El análisis de 26 libros de Biología de secundaria, autorizados por la Secretaria de Educación Pública (Alvarado, 2000), detectó que algunos conceptos relacionados con el tema de composición y estructura de la materia, se entienden en forma diferente por profesores de Química y Biología (que podría suponerse deberían comprender en forma similar). Esto motivó el desarrollo del estudio que se presenta, cuyos objetivos principales fueron detectar y comparar el conocimiento que manifiestan los estudiantes de las carreras de Biología, Física y Química de la UNAM, con relación a la composición y estructura de la materia. El enfoque fue orientado principalmente hacia los conceptos de materia, sustancia, átomo, molécula, elemento, compuesto, mezcla y enlace químico. Se consideró la disciplina científica a la que pertenecen y se tomó en cuenta que en los planes de estudio de estas carreras, este tema se presenta en diversos cursos y semestres.

El contenido de este estudio se presenta en seis capítulos, cada uno de los cuales se describe brevemente a continuación:

El Capítulo I trata sobre las características del conocimiento considerado científico y de algunos de los principales factores que influyen en su enseñanza y aprendizaje.

En el Capítulo II se presentan diversos criterios que permiten caracterizar y clasificar los campos disciplinarios. Así mismo, se contextualizan las carreras de Biología, Física y Química en la UNAM.

En el Capítulo III se resalta la relevancia del conocimiento de la composición y estructura de la materia para la adecuada comprensión de diversos fenómenos y procesos en los campos de la Biología, la Física y la Química. También se reportan resultados dados en la literatura con relación a problemas conceptuales detectados acerca del tema, en estudiantes de nivel medio superior y superior y en profesores y autores de libros de texto.

En el Capítulo IV se define la metodología empleada para llevar a cabo este estudio. Se describen los criterios que se consideraron para la elaboración y aplicación del instrumento de investigación, un cuestionario, así como los correspondientes a la selección de la muestra de la población sujeta a estudio.

Con el objetivo de facilitar el análisis de los resultados obtenidos a partir de las respuestas de los alumnos, en el Capítulo V se reseña brevemente el propósito de cada una de las preguntas del cuestionario, y se presenta un mapa conceptual con los conceptos, ramificaciones y relaciones referentes a la estructura de la materia, que más frecuentemente se mencionaron durante el desarrollo de este estudio. Las respuestas de los alumnos se analizaron y categorizaron con la finalidad de determinar si existían semejanzas, diferencias y relaciones significativas entre ellas, considerando la procedencia de los alumnos en cuanto a la carrera que cursaban. Para la descripción de los datos frecuentemente se emplean gráficas y tablas. También se incluyen los más destacados problemas conceptuales detectados.

Por último, en el Capítulo VI que corresponde a las conclusiones del estudio, producto de los resultados obtenidos, se confirma la influencia del campo disciplinario en el conocimiento que acerca de la composición y estructura de la materia, manifestaron los estudiantes de las tres carreras; así mismo, se presentan los más sobresalientes problemas conceptuales que se detectaron en ellos y, por último, se comentan algunos aspectos disciplinares, curriculares y didácticos a considerar por los docentes.

Se debe tener presente que la generalización que se puede hacer de los resultados de este estudio es limitada y que de ninguna manera constituye estadísticas representativas de la educación en la UNAM. No obstante, se considera que el estudio aporta algunos indicios válidos sobre la situación educativa que prevalece en ella.

CAPÍTULO I. LA CIENCIA Y EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

1.1 REFLEXIONES SOBRE LA CIENCIA

Los seres humanos nos hemos enfrentado siempre al reto, teórico y práctico a la vez, de aumentar nuestros conocimientos y de transformar la realidad circundante y así hemos ido acumulando saberes sobre el entorno en que vivimos. Este conjunto de conocimientos que las personas tenemos sobre el mundo, así como la actividad humana destinada a conseguirlos, es lo que denominamos ciencia (derivada del latín “scire” que significa: saber, conocer; su equivalente griego es “sophia”, que significa el arte de saber). No obstante, el título de ciencia no se puede aplicar a cualquier conocimiento, sino únicamente a los saberes que han sido obtenidos mediante una metodología adecuada y cumpliendo determinadas condiciones (Serres, 1991).

La ciencia es una de las actividades que el hombre realiza, un conjunto de acciones encaminadas y dirigidas hacia determinado fin, que es el de obtener un conocimiento verificable sobre los hechos que lo rodean; es un proceso de producción de conocimiento que procura explicar por qué los sucesos observados ocurren. Dicho proceso depende de la interacción entre la observación cuidadosa y la elaboración de teorías que dan cuenta de los fenómenos observados. Aún cuando el conocimiento adquirido en el curso de la experiencia es frecuentemente preciso, rara vez proporciona explicaciones de por qué los fenómenos ocurren de cierta manera. La ciencia, en cambio, busca formular explicaciones para los fenómenos naturales identificando las condiciones que hacen posible su ocurrencia. Aunque una teoría explique adecuadamente un conjunto de observaciones, siempre es posible que se elabore otra que pueda explicarlos mejor o que abarque un intervalo mayor de observaciones. Aunque los científicos consideran que no hay forma de alcanzar la verdad absoluta, se van construyendo aproximaciones cada vez más exactas que dan cuenta de la forma en que funcionan los fenómenos que tienen lugar en el universo.

La ciencia es una compleja actividad que consiste esencialmente de dos aspectos relacionados entre sí, uno imaginativo o creativo, y otro crítico. El planteamiento de una explicación para un fenómeno, la proposición de una hipótesis o simplemente la sugerencia de una explicación para un problema que otra teoría no explica, es un ejercicio creativo. Pero en la ciencia, las explicaciones o conjeturas científicas deben examinarse críticamente, respecto a su consistencia interna y a la que tienen con otras teorías, y ser sujetas a contrastación empírica. La validez de las hipótesis científicas es asentada por referencia a la observación de los fenómenos. La observación puede ser directa, como en el caso de la taxonomía, la biogeografía o la ecología, o en el laboratorio, con la puesta en práctica de experimentos como en el caso de la biología molecular y la bioquímica o incluso en las disciplinas antes mencionadas, que en muchos casos también realizan experimentos. El pensamiento científico puede ser caracterizado como un proceso de invención o descubrimiento, seguido por su validación o confirmación. Uno de los procesos concierne a la formulación de nuevas ideas o adquisición de conocimiento, y el otro a la validación o justificación del conocimiento ya establecido.

La ciencia se interesa por formular leyes generales y teorías que manifiesten patrones de relaciones entre muy distintas clases de fenómenos, por medio de formas particulares de observación, razonamiento y validación. La ciencia supone que los fenómenos del universo ocurren con ciertos patrones que pueden ser entendidos por el estudio sistemático vía el intelecto y con la ayuda de instrumentos que extienden los sentidos. La ciencia se desarrolla descubriendo

nuevas relaciones y, particularmente, integrando afirmaciones, leyes y teorías que anteriormente parecían no estar relacionadas. La relación estrecha entre todas las disciplinas científicas, las matemáticas y la tecnología hace que el avance de una de ellas favorezca el desarrollo de las demás.

La ciencia no debe perseguir la ilusoria meta de que sus respuestas sean definitivas, su avance se encamina hacia la finalidad infinita de descubrir incesantemente problemas nuevos, más profundos, más generales, y justificar nuestras respuestas al respecto. Bunge (1981) expresa: “La ciencia no pretende ser verdadera; ni por tanto final, incorregible y cierta”.

La ciencia no es únicamente un conjunto de conocimientos que cumplen determinados requisitos. Tan importante como estos conocimientos es la forma como se obtienen. La manera de proceder característica de la ciencia se ha dado en llamar método científico. Bertrand Russell (1969) señala que el método científico consiste en observar aquellos hechos que permiten descubrir las leyes generales que los rigen, y describir así el proceso de investigación científica: “Para llegar a establecer una ley científica existen tres etapas principales: la primera consiste en observar los hechos significativos; la segunda, en sentar hipótesis que, si son verdaderas, expliquen aquellos hechos; la tercera, en deducir de estas hipótesis consecuencias que pueden ser puestas a prueba por la observación. Si las consecuencias son verificadas, se acepta provisionalmente la hipótesis como verdadera, aunque requerirá ordinariamente modificación posterior, como resultado del descubrimiento de hechos ulteriores”

No obstante, hoy en día las concepciones modernas de la filosofía de la ciencia descartan la idea de que la observación y la experimentación sean un fundamento seguro y sostengan la ciencia. En esta línea están por ejemplo el radical Feyerabend (1974) que afirma que “no hay ningún método que permita probar que las teorías científicas son verdaderas (...) no hay método que permita refutar de modo concluyente las ideas científicas”. Y es que no puede afirmarse que la práctica del método científico elimine toda forma de sesgo personal o fuente de error, ni tampoco que asegure la verdad de las conclusiones. Pérez Gómez (1978) ha demostrado que el científico no es conciente de la totalidad de los factores (sociales, políticos, culturales e ideológicos) implicados en su actividad; ni sus propósitos y gestos son totalmente objetivos, ni las hipótesis son perfectamente conocidas y explícitas, ni su método totalmente transparente y protegido de toda influencia extraña. A partir de estas consideraciones, se va abriendo paso la idea de que el método científico consiste sobre todo “...en exponer la teoría (...) a la crítica constante y aguda del investigador. Sólo podrá seguir siendo válida una teoría que resista al continuo esfuerzo de falsación” (Von Cube, 1981).

Frente a Popper (1985) quien afirma categóricamente que la ciencia avanza sobre la falsación de los enunciados que formula, pues “todas las teorías son hipótesis tentativas, que prueban de ver si funcionan o no. Y la corroboración experimental es sencillamente el resultado de pruebas realizadas con espíritu crítico, para saber dónde yerran nuestras teorías”, otros autores como Kuhn (1987) propugnan que esta teoría de la falsación es errónea ya que propicia la supervivencia de muchas teorías ante la imposibilidad de rechazar muchas de las hipótesis que generan, y relaciona la madurez de una ciencia con la existencia de un paradigma (“una realización científica universalmente reconocida que, durante un cierto tiempo, proporciona modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica”, según Kuhn), identificando la función de la ciencia no tanto con la exigencia de la conquista objetiva e imparcial de

conocimientos, sino con la necesidad de dar pruebas fehacientes de su progreso. Un posicionamiento intermedio es el de Lakatos (1989), que busca la objetividad de la ciencia a través de la objetividad de la metodología, pero coincidiendo con Popper en que son los datos los que propician los cambios teóricos. Para Lakatos, lo que caracteriza a una teoría como científica es su capacidad para explicar hechos nuevos. En este marco, Sarramona (1990) apunta que “el conocimiento científico y la manera de acceder a él son relativos y están en función de cada momento histórico, lo que nos debe motivar a seguir investigando permanentemente en la búsqueda de conocimientos cada vez más amplios y estables”.

Las hipótesis científicas juegan un papel sumamente destacado, pues son proposiciones universales que explican, predicen y retrodicen* hechos particulares, por medio de conclusiones deductivas y corroborables en la experiencia.

Formulada la hipótesis, con la ayuda de razonamientos deductivos válidos, se infieren consecuencias. Utilizando además premisas auxiliares, las consecuencias pueden referirse a hechos particulares. Tales premisas son las denominadas condiciones iniciales e hipótesis auxiliares. Las primeras describen las condiciones específicas del fenómeno, como en el caso de la velocidad de un móvil, en que hace falta precisar la velocidad inicial, el espacio recorrido y el tiempo transcurrido; las segundas son suposiciones que se toman de otras teorías o se formulan especialmente.

Si una hipótesis científica es confirmada se convierte en ley. Si las proposiciones inferidas resultan falsas, la hipótesis es refutada. En tal caso, será necesario modificarla o formular una nueva hipótesis.

Hasta principios del siglo XX, los científicos y los filósofos creían que las leyes científicas describían la estructura misma de la realidad. Las hipótesis confirmadas eran leyes objetivas y absolutas. Hoy se atribuye a las leyes científicas carácter provisorio. Nuevas investigaciones pueden llevar a modificarlas o reemplazarlas por otras hipótesis; aún así siguen siendo objetivas, por su referencia a los hechos y su verificación empírica, comprensibles y comprobables.

Longino (1990; citado en Kelly y otros, 1993) identificó dos tipos de valores que permean la ciencia: constitutivos y contextuales.

- Los valores constitutivos son valores específicos de la ciencia que “son la fuente de las reglas que determinan qué constituye lo aceptable en la práctica o el método científico”
- Los valores contextuales son los compromisos personales, sociales y culturales inherentes a cualquier ambiente.

Por ejemplo, en un laboratorio de una escuela de ciencias, los valores constitutivos pueden gobernar las decisiones de los estudiantes acerca de emplear o descartar datos fraudulentos. Los valores contextuales pueden guiar a un maestro a dedicarle más tiempo a la enseñanza de la respiración humana que a la reproducción humana, señalando inadvertidamente que la primera es científicamente más significativa que la segunda.

*Cuando las hipótesis establecen lo que va a ocurrir en un tiempo más o menos lejano, se les denomina predicciones; cuando se les emplea para explicar hechos del pasado, se les designa retrodicciones.

Estudios en historia, filosofía y sociología de la ciencia han ayudado a redefinir la ciencia como un conocimiento socialmente constituido formado en muchos niveles por valores, creencias y consensos humanos.

Merton (1942; citado en Kelly y otros, 1993) propuso cuatro conjuntos de imperativos institucionales, que caracterizó como las normas de la ciencia:

- 1) La validez del conocimiento científico es independiente de los atributos personales, sociales, culturales y nacionales de los científicos y debe ser evaluado con criterios cognitivos.
- 2) Los productos de los esfuerzos científicos pertenecen a la comunidad de científicos. Esta norma requiere una comunicación abierta dentro de la comunidad científica.
- 3) Los científicos están motivados por un deseo de ampliar el dominio del conocimiento humano, sin interés personal en conclusiones científicas particulares.
- 4) Los científicos tienen un mandato metodológico e institucional para considerar únicamente hechos establecidos científicamente.

Estudios sociales de la ciencia establecen estas normas como imperativos que deben guiar la generación del conocimiento científico.

Se suelen considerar como criterios importantes de clasificación de las ciencias el objeto de estudio y los métodos.

Se denomina objeto de estudio al sector o ámbito de la realidad estudiada (por ejemplo, la biología investiga los seres vivos, mientras que la astronomía se ocupa de los cuerpos celestes), así como a la perspectiva o punto de vista que interesa en la investigación: la historia, la psicología, la biología humana y la antropología se dedican al hombre (objeto), pero se dirigen a aspectos diferentes (objeto de estudio).

Los métodos pueden considerarse en dos sentidos: por un lado, como procedimientos para el logro de conocimientos (para “descubrir” o “formular” teorías) y, por otro, como las formas de justificación de las proposiciones científicas. Las nociones de “contexto de descubrimiento” y “contexto de justificación” se relacionan respectivamente a esos dos sentidos en que puede hablarse de métodos. El primer contexto comprende elementos subjetivos y situacionales, que operan cuando un investigador busca formular su teoría. El contexto de justificación pretende deslindar lo científico de lo que no lo es (o, lo que es lo mismo, brindar “criterios de demarcación”) y comprender la validez de los conocimientos de las ciencias.

Para concluir, la ciencia es frecuentemente presentada como un campo muy técnico que ha sido desnudada de todos los elementos humanos; además ha asumido una posición elitista pues con frecuencia es considerada como un campo al que sólo los más brillantes pueden acceder (en la escuela, en la sociedad).

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Desde que la especie humana comenzó a crear cultura, es decir, a modificar y remodelar el ambiente que la rodeaba para sobrevivir y desarrollarse, fue necesario también que comprendiera la naturaleza y las transformaciones de los objetos que constituían su entorno. Tareas que nos parecen simples como edificar una vivienda sencilla, domesticar animales o trabajar la tierra, sólo pudieron ser emprendidas después de cuidadosas observaciones de todo tipo: el ciclo de los días y las noches, el de las estaciones del año, la reproducción de los animales y vegetales, el estudio del clima y de las tierras, el conocimiento elemental de la geografía, etc. El conocimiento de esas épocas no se circunscribió exclusivamente al mejoramiento de las condiciones materiales. Apareció simultáneamente la inquietud por conocer el sentido general del cosmos y de la vida, originándose los primeros intentos de elaborar explicaciones de toda la naturaleza. Así aparecieron la magia y las explicaciones religiosas, más tarde los principios filosóficos y los científicos. Todas estas construcciones del intelecto pueden verse como parte de un amplio proceso de adquisición de conocimientos que muestra lo complicado que resulta la aproximación a la realidad.

El pensamiento científico se ha ido gestando y perfilando históricamente, por medio de un proceso que se acelera notablemente a partir del Renacimiento.

Entendemos por conocimiento el saber consciente y fundamentado que somos capaces de comunicar y discutir; se distingue así del saber vulgar que es simplemente recordado y que no podemos someter a crítica.

Son numerosas y variadas las definiciones acerca de conocimiento, así durante un seminario internacional sobre el conocimiento (Kucuradi y Cohen, 1995), Kucuradi se refirió a él así: “Conocimiento como una actividad humana, entre otras, parece ser el nombre general de varias actividades vinculadas – tales como la percepción, comprensión, pensamiento razonado, con todas sus variedades: y además, interpretación, explicación con sus diversas clases, tanto como verificación, justificación, evaluación, etc. La composición de tales actividades forma parte de los actos de la adquisición de conocimiento. El conocedor descubre y establece una conexión con el objeto de conocimiento. El objeto de conocimiento sólo son cosas reales”; Tynieniecka en esta forma: “Conocimiento denota el resultado de la capacidad específica humana para ejecutar un conjunto de operaciones psíquicas (observar, percibir, investigar y sintetizar) que suceden dentro de nosotros, extrapolándolas en la forma inteligible de enunciados significativos”; y Popper: “En sentido subjetivo, el conocimiento consiste en un estado de la mente o de la conciencia o una disposición a conducirse o reaccionar; en sentido objetivo, el conocimiento consiste de problemas, teorías y argumentos como tales”.

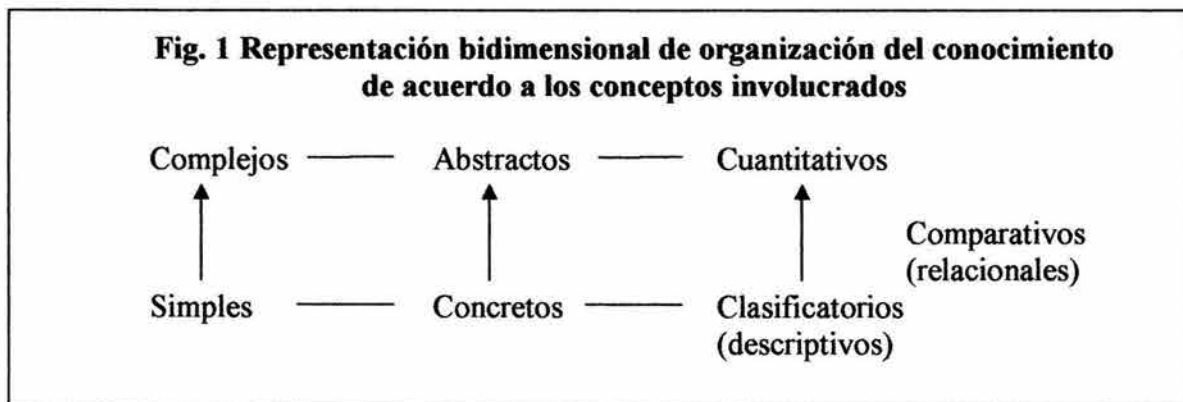
Actualmente se considera que el conocimiento es un proceso, en oposición a la consideración de la filosofía tradicional que lo concebía como algo estático. Así, lo que caracteriza a la ciencia actual no es la pretensión de alcanzar un saber verdadero sino, como afirma Popper (1985), la obtención de un saber riguroso y contrastable: “La ciencia debe conseguir estructurar sistemáticamente los conocimientos en función de unos principios generales que sirven de explicación y poseen a aquellos, dando una coherencia general y claridad inexistentes anteriormente”.

Shulman (1986) declara que: “El conocimiento no crece de forma natural e inexorable. Crece por las investigaciones de los estudiosos (empíricos, teóricos y prácticos) y es por tanto una función de los tipos de preguntas formuladas, problemas planteados y cuestiones estructuradas por aquellos que investigan”.

Si concebimos al hombre como un ser complejo, dotado de una capacidad de raciocinio, pero también de una poderosa afectividad, veremos que tiene muchas maneras distintas de aproximarse a los objetos de su interés, así ante una cadena montañosa, por ejemplo, puede dejarse llevar por sus sentimientos y maravillarse frente a la majestuosidad del paisaje, o bien puede tratar de estudiar su composición mineral y sus relaciones con las zonas vecinas; también puede detenerse a evaluar las posibilidades de su aprovechamiento. El producto de cualquiera de estas actitudes será, en todos los casos, algún tipo de conocimiento.

Aspecto importante en la construcción del conocimiento es la creación de redes entre conceptos (elementos básicos en la estructura del conocimiento), principios y proposiciones. Ningún dato específico tiene significado sólo en sí, únicamente es comprendido cuando está relacionado con otros elementos del conocimiento.

El conocimiento científico está usualmente organizado de acuerdo al grado de complejidad, abstracción y sofisticación de los conceptos involucrados (Abimbola y Yarroch, 1993):



El grado de complejidad de un concepto varía de simple a complejo dependiendo del número de conceptos requeridos para su descripción. Así, un concepto como “gas” puede ser más simple que el de la “Ley de los Gases”, porque una ley requiere más conceptos para su establecimiento.

El grado de abstracción de un concepto varía de concreto a abstracto. Conceptos concretos son empíricos u observables, por ejemplo, conceptos referentes a objetos o fenómenos que pueden ser vistos, tocados o percibidos usando cualquiera de los sentidos o sus extensiones. Ejemplos son: sustancias, células, poleas, etc. Un concepto abstracto, por otro lado, es teórico o no observable, por ejemplo, el cero absoluto, genes, átomos, etc. El límite entre conceptos concretos y abstractos no siempre es claro porque existen conceptos abstractos que pueden tener aspectos observables desde los cuales pueden ser inferidos, tal es el caso del átomo.

El grado de sofisticación varía desde conceptos clasificatorios a comparativos y a cuantitativos. Los clasificatorios son conocidos incluso como descriptivos, mientras que los comparativos

como relacionales. Los conceptos clasificatorios son usados para agrupar objetos en clases de acuerdo a sus atributos, por ejemplo, animales, plantas, alto, bajo, etc. Los conceptos comparativos se usan para relacionar dos o más conceptos, son intermediarios entre los clasificatorios y los cuantitativos, y usualmente forman las bases para los cuantitativos. Ejemplo: menor, mayor, igual, inverso, proporcional, etc. Los conceptos cuantitativos se expresan en números.

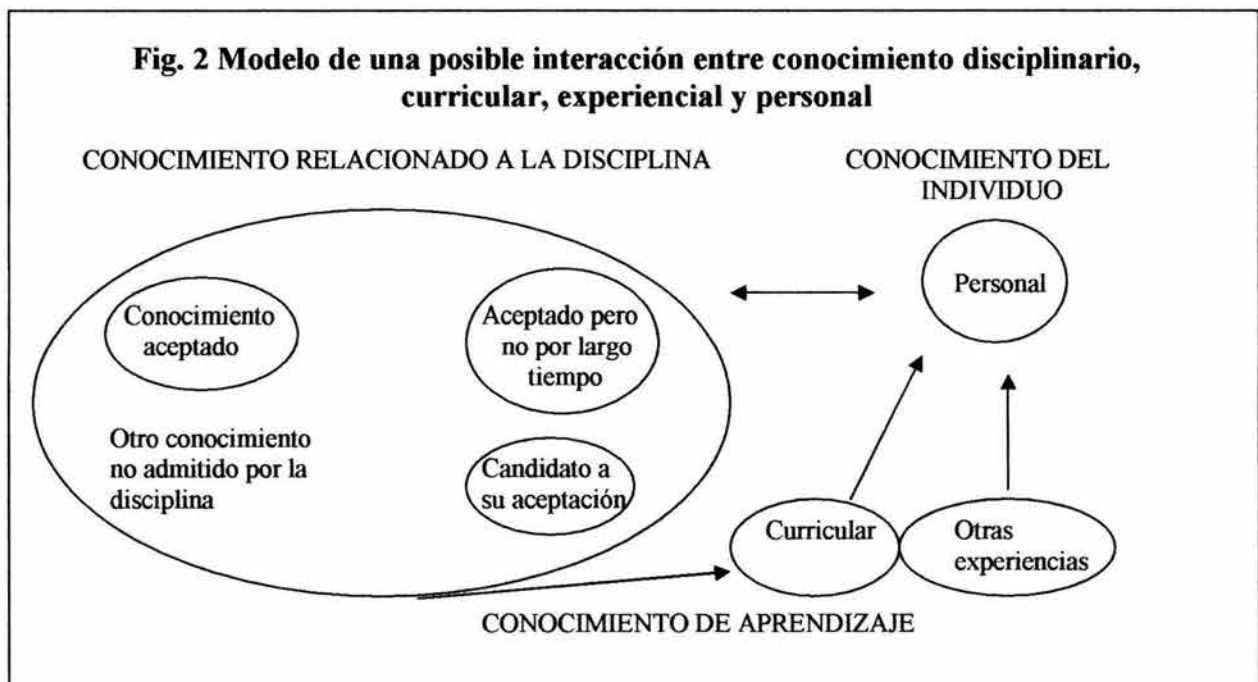
En el nivel más bajo de la organización del conocimiento están los conceptos que son simples, concretos y clasificatorios. En el más alto están los complejos, abstractos y cuantitativos. Obviamente hay combinaciones en estas características. Un ejemplo de organización de orden alto puede ser una teoría, tal como la Teoría de la Relatividad de Einstein.

Janiuk (1993) menciona dos grupos de conceptos:

- Conceptos concreto-operacionales, cuyo significado puede ser desarrollado por la experiencia de primera mano con objetos o eventos. Ejemplos: matraz, flama, metal y flor.
- Conceptos formal-operacionales, cuyo significado se deriva a través de una posición dentro de un sistema postulatorio-deductivo. Ejemplos: átomo, energía, equilibrio químico y oxidación-reducción.

La mayoría de los conceptos relacionados con la estructura de la materia pueden considerarse dentro del segundo grupo, el de los conceptos formal-operacionales, por lo que su proceso de aprendizaje es más complejo y difícil, pues requieren un nivel de razonamiento más elevado.

Abimbola y Yaroch (1993) subdividen el conocimiento científico en cuatro categorías: conocimiento disciplinario, curricular, experiencial y personal, las cuales pueden interactuar para producir diferentes contextos. Estas categorías del conocimiento se espera sean dinámicas e interactivas (Figura 2)



Conocimiento disciplinario. El conocimiento relacionado a la disciplina puede ser dividido en cuatro subcategorías basadas en su status dentro de la disciplina:

- El conocimiento que es conscientemente aceptado y usado, por ejemplo, la Teoría Ácido-Base de Brønsted-Lowry, en Química
- El conocimiento que alguna vez fue aceptado pero ya no actualmente, por ejemplo, la Teoría del Flogisto en Química, o la Teoría de Lamarck de la Herencia de los Caracteres Adquiridos, en Biología
- El conocimiento de probable aceptación en la disciplina, ejemplos son recientes hallazgos en investigación y reportados en artículos publicados y en espera de ser confirmados o descalificados por otros investigadores para ser aceptados o no por la comunidad, por ejemplo, la prueba de Andrew J. Myles del Último Teorema de Fermat, $X^n + Y^n \neq Z^n$ donde $n > 2$.
- El conocimiento relacionado a la disciplina pero no admitido o aún candidato a ser admitido. Ejemplos son la astrología y fenómenos extrasensoriales.

Conocimiento curricular. Generalmente es un subconjunto del conocimiento disciplinario que ha sido seleccionado y organizado en el curriculum para la enseñanza. Conocimiento controversial usualmente no es seleccionado dentro del curricular, incluso toma algún tiempo que hallazgos científicos recientes entren al curriculum como conocimiento. El conocimiento curricular es encontrado usualmente en programas de estudio, libros de texto, películas, videos y otros materiales. En ciencias, la mayoría se encuentra en libros de texto.

Conocimiento experiencial. Es conocimiento no organizado del mundo que nos rodea, percibido por nuestros sentidos. Los individuos están en contacto con diversas experiencias en el medio ambiente y hacen interpretaciones de ellas. Usualmente no requiere para adquirirse de un agente que lo enseñe, aunque pueden involucrarse algunos aparte del maestro. Ejemplos son las piezas de información que los padres enseñan a sus hijos o incluso información proveniente de la cultura popular, principalmente a través de los medios masivos de comunicación. Los conocimientos curricular y experiencial del estudiante interactúan en situaciones de aprendizaje para formar el llamado "Conocimiento de Aprendizaje", que se espera posean los estudiantes en diversos grados como conocimiento personal.

Conocimiento personal. Es el conocimiento que posee cada estudiante como individuo, es una combinación de conocimiento experiencial y curricular. Para la persona promedio, este conocimiento puede ser similar al conocimiento de la disciplina o del curricular.

Una armonía apropiada de las cuatro categorías de conocimiento en los individuos posibilita que el aprendizaje adecuado tenga lugar. Por otro lado, el aprendizaje es contrariamente afectado si cualquiera de los diferentes tipos de conocimiento causa conflicto cognitivo en el individuo.

Según algunas posiciones cognitivas actuales (Díaz Barriga, 1998), el conocimiento puede agruparse en tres áreas básicas: el conocimiento declarativo, el conocimiento procedimental y las actitudes.

- El saber qué o conocimiento declarativo es un conocimiento descriptivo de la realidad y se refiere al conocimiento de datos, hechos, conceptos y principios. Es un saber que se dice o declara por medio del lenguaje. Este conocimiento se divide en dos tipos: el factual y el conceptual.

El conocimiento factual es el que se refiere a datos y hechos que proporcionan información verbal y que los alumnos deben aprender en forma literal, memorística, sin comprensión de la información, donde poco importan los conocimientos previos de los alumnos.

Por otro lado, el conocimiento conceptual es construido a partir del aprendizaje de conceptos, principios y explicaciones, los cuales no tienen que ser aprendidos en forma literal, sino abstrayendo su significado esencial o identificando las características y las reglas que los componen. En el aprendizaje conceptual, ocurre una asimilación sobre el significado de la información nueva, se comprende lo que se está aprendiendo, para lo cual es imprescindible el uso de los conocimientos previos que posee el alumno.

- El saber hacer o conocimiento procedimental es aquel conocimiento que se refiere a la ejecución de procedimientos, estrategias, técnicas, habilidades, destrezas, métodos, etcétera. A diferencia del saber qué, que es de tipo declarativo y teórico, el saber procedimental es de tipo práctico, porque está basado en la realización de varias acciones u operaciones. Los procedimientos pueden ser definidos como un conjunto de acciones ordenadas y dirigidas hacia la consecución de una meta. El aprendizaje de procedimientos es un proceso gradual.

Saber no sólo significa tener conocimiento declarativo. Saber significa, además, ser capaz de aplicarlo. En los contextos educativos es frecuente encontrar un gran número de alumnos que sólo conocen el componente declarativo del contenido que se les enseña, pero no el componente procedimental.

- Las actitudes son un aspecto poco entendido en la enseñanza. Se puede decir que las actitudes son constructos que regulan nuestras acciones y que se encuentran compuestos de tres elementos básicos: un componente cognitivo, un componente afectivo y un componente conductual. Las actitudes son experiencias subjetivas que implican juicios evaluativos, que se expresan en forma verbal o no verbal, que son relativamente estables y que se aprenden en el contexto social. El aprendizaje de las actitudes es un proceso lento y gradual, donde influyen distintos factores como las experiencias personales previas, las actitudes de personas significativas, la información y experiencias novedosas y el contexto sociocultural. El conocimiento reside en los individuos y éstos lo construyen a través de sus interacciones con el medio ambiente.

El conocimiento científico es uno de los modos posibles de conocimiento, quizá el más útil o adecuado, pero no el único, ni el único capaz de proporcionarnos respuestas para nuestras interrogantes; para serlo debe cumplir con ciertos requisitos:

- 1) **El conocimiento científico está basado en la racionalidad.** La ciencia utiliza la razón como arma esencial para llegar a sus resultados. Los científicos trabajan en lo posible con conceptos, juicios y razonamientos, y no con las emociones, fantasías o deseos. La racionalidad

aleja a la ciencia de la religión y de todos los sistemas donde aparecen elementos no racionales o donde se apela a principios explicativos extra o sobrenaturales; y la separa también del arte donde cumple un papel secundario, subordinado a los sentimientos y sensaciones (Bunge, 1981).

2) **El conocimiento científico debe ser objetivo.** Intenta obtener un conocimiento que concuerde con la realidad del objeto, que lo describa o explique tal cual es y no como desearíamos que fuese. Lo contrario es subjetividad (las ideas que nacen del prejuicio, de la costumbre o la tradición). Debe presentarse de igual manera para todo sujeto, aunque actualmente se reconoce la dificultad de una objetividad completa, incluso en el ámbito de las Ciencias Naturales. Para poder luchar contra la subjetividad, es preciso que nuestros conocimientos puedan ser verificados por otros (Woolgar, 1991).

La objetividad del conocimiento científico exige como requisitos un lenguaje preciso y unívoco, comunicable a cualquier sujeto capacitado, quien podrá disponer así de los elementos necesarios para corroborar la validez de las teorías en sus aspectos lógicos y verificables.

Que los sujetos conozcan el mundo requiere que ese conocimiento se base en razones objetivamente suficientes. Una razón es objetivamente suficiente si es válida no únicamente para quien juzga, sino que es válida – como lo dice Villoro (1982) – “con independencia de cualquier juicio particular que de hecho se formule sobre ellas”. “Objetivo –agrega Villoro– es aquello cuya validez no depende del punto de vista particular de una o varias personas, sino que es válido con independencia de este punto de vista, para todo sujeto de razón que lo considere”.

Una creencia objetiva deberá estar basada en la posibilidad de la mejor justificación que realmente tengan a su alcance los sujetos de cierta comunidad. La objetividad se refiere a la posibilidad de reconocimiento público, en una comunidad determinada, de que hay una situación de hecho. Dicho reconocimiento podría darse con respecto a cualquier realidad que tenga efectos en la comunidad de que se trate, y en relación con la cual haya evidencia satisfactoria, de acuerdo con el marco conceptual en cuestión, para admitirla. Las creencias objetivas pueden servir de base para acciones o interacciones, las cuales pueden tener consecuencias en la comunidad donde se sostienen, o en su medio ambiente. La objetividad de una creencia está en función de otras creencias disponibles, así como de otros recursos intelectuales y materiales disponibles para la comunidad de que se trate. Así, una creencia será objetiva en la medida que haya evidencia a su favor racionalmente aceptable en términos del marco conceptual que tiene a su disposición la comunidad epistémica pertinente, y en relación con la cual no es posible encontrar razones lo suficientemente convincentes como para abandonarlas en términos del mismo marco conceptual del que dispone la comunidad y con la evidencia disponible en función de los recursos teóricos y materiales a los que esa comunidad tiene acceso (Olivé, 1995).

Objetividad presupone la noción de racionalidad, es decir, es posible que haya creencias objetivas en virtud de que los seres humanos pueden, en ocasiones, ejercer su razón y examinar entonces las razones que apoyan una cierta creencia, así como las que se le oponen, y con base en eso aceptar o rechazar la creencia en cuestión. La racionalidad puede verse como un método para elegir la mejor creencia, esto es, las creencias que podamos aceptar como genuino saber, o saberes.

3) **El conocimiento científico es un saber crítico, fundamentado y verificable**, que debe justificar sus afirmaciones. Se centra en fenómenos susceptibles de ser comprobados experimentalmente o al menos contrastados experiencialmente (de manera que demuestren su adecuación, su utilidad).

Se puede considerar que hay dos dimensiones en la fundamentación de la ciencia (Díaz, E. y Heler, M., 1989):

En un sentido, las relaciones lógicas entre las proposiciones científicas, dentro del sistema que forman, establecen que unas son la justificación de otras, y dan coherencia al conjunto de enunciados. Esta dimensión, que podemos denominar lógica, es un requisito de la fundamentación de cualquier tipo de ciencia. El lenguaje científico contribuye a cumplir con esta dimensión, gracias a sus características.

Además, exige la confrontación de sus proposiciones con la realidad. Este requisito de confrontación empírica no siempre es directo, ni total, para proposiciones universales. Ello plantea una seria problemática para la validación de teorías científicas.

La verificación de proposiciones científicas se vincula a dos procedimientos: la observación y la experimentación. La observación consiste en el registro de los datos de un fenómeno, en forma atenta y objetiva. En la experimentación se provoca una situación bajo condiciones controladas. En astronomía los fenómenos son, la mayoría de los casos, observados; no puede provocarse un eclipse, pero sí se puede entender y registrar, con el instrumental adecuado, lo que ocurre cuando el eclipse sucede naturalmente.

La experimentación posibilita la verificación. En efecto, por un lado, pueden crearse las condiciones que un experimento estipula y, provocado el fenómeno, controla si los hechos confirman o refutan lo enunciado. Por otro lado, cualquier persona capacitada puede repetir los experimentos que llevaron a la formulación de un nuevo conocimiento y comprobar los resultados, al repetir las condiciones de la experimentación.

4) **El conocimiento científico es explicativo**. Una mera recolección de datos o una descripción o enumeración de los hechos no constituye por sí mismo conocimiento científico. Es necesario formular enunciados acerca de las relaciones constantes y generales de los fenómenos. La tarea científica es buscar las leyes que regulan la realidad (Díaz, E. y Heler, M., 1989).

La ciencia formula teorías que dan lugar a leyes generales que explican hechos particulares y predicen comportamientos.

En cada ciencia particular el ideal consiste en formular una teoría que dé explicación de todos los fenómenos de su ámbito de estudio e integre las teorías más destacadas elaboradas en su desarrollo histórico.

5) **El conocimiento científico es sistemático**, constituye una unidad ordenada; los nuevos conocimientos se integran, relacionándose con los ya establecidos. Es un cuerpo de proposiciones relacionadas entre sí, y se desarrolla mediante la investigación científica (Díaz, E. y Heler, M., 1989).

El conocimiento científico no consiste en conocimientos dispersos e inconexos, sino en un saber ordenado lógicamente que constituye un sistema que permite relacionar hechos entre sí. Las interrelaciones entre los conocimientos es lo que da sentido a las teorías (formulaciones que pretenden explicar un aspecto determinado de un fenómeno), que se estructuran en leyes y se

representan mediante modelos (representaciones simplificadas de la realidad que muestran estructura y funcionamiento).

El conocimiento científico es sumamente estructurado en prácticamente todas sus formas; así, contenidos desintegrados no sólo distorsionan la imagen del conocimiento científico, sino peor aún, la imagen del mundo físico que representan.

6) **El conocimiento científico es metódico.** Los conocimientos científicos no se adquieren al azar, sino que son fruto de rigurosos procedimientos (observación, reflexión, contrastación, experimentación, etc.). El investigador sigue procedimientos, desarrolla su tarea en base a un plan previo (Díaz, E. y Heler, M., 1989).

7) **El conocimiento científico es provisional.** La concepción de verdad como algo absoluto debe ser abandonada y substituida por la certeza, considerada como una adecuación transitoria del saber a la realidad. El saber científico está en permanente revisión, y así evoluciona porque la tarea de la ciencia no se detiene, prosigue sus investigaciones con el fin de progresar en la comprensión de la realidad. El desarrollo histórico de la ciencia muestra cambios habidos en las teorías científicas. Tales cambios permiten afirmar la posibilidad de futuras innovaciones, pues la investigación puede llegar a reformular resultados o reemplazarlos por otros nuevos.

El conocimiento científico está sujeto al cambio, no procede indefinidamente sobre las bases de los principios que guiaron las primeras investigaciones, pues por ejemplo, técnicas experimentales son inventadas o refinadas, así el nuevo conocimiento es más adecuado, pero debe revisarse constantemente (Díaz, E. y Heler, M., 1989).

La antigua Biología, descriptiva, consistía en una forma de catálogo de órganos, tejidos o tipos de células que constituyen al organismo, o bien, de especies, géneros y clases de organismos que poblaban la Tierra. La Química, en forma similar, tendía a ser un esquema clasificatorio de elementos y de las más complejas sustancias que resultaban de su combinación. La moderna investigación científica tiende, contrariamente, a los patrones de cambio y a los patrones de relaciones, bajo principios explicativos.

Así, se puede abordar la significancia de la glucosa en los seres vivos, recitando su fórmula, nombrando los tres elementos que la constituyen, indicando el número de cada uno y mencionando que es una fuente de energía. Sin embargo, actualmente se aborda como patrón básico de una molécula de un carbohidrato, cómo sus elementos están relacionados unos con otros, qué sucede cuando sus uniones se rompen, cómo la energía es capturada, almacenada, transferida y utilizada en el cuerpo.

8) **El conocimiento científico es falible.** La ciencia es uno de los pocos sistemas elaborados por el hombre donde se reconoce explícitamente la propia posibilidad de equivocación, de cometer errores. En esta conciencia de sus limitaciones, es donde reside la verdadera capacidad para autocorregirse y superarse (Woolgar, 1991).

9) **El conocimiento científico tiende a la generalidad.** La preocupación científica no es tanto ahondar y completar el conocimiento de un solo objeto individual, sino lograr que cada conocimiento parcial sirva como puente para alcanzar una comprensión de mayor alcance (Woolgar, 1991).

10) **El conocimiento científico es comunicable.** Debe utilizar un lenguaje científico, unívoco en términos y proposiciones, que evite las ambigüedades (Díaz y Heler, 1989)

1.3 ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Aprender ciencia es un proceso gradual durante el cual las estructuras conceptuales iniciales son continuamente enriquecidas y reestructuradas; en el nivel de educación superior se convierte en una actividad que tiene que ver fundamentalmente con adquisición de conocimiento y de métodos para el análisis y el estudio de datos, altos niveles de densidad lógico-conceptual, entendimiento de teorías y enfoques epistemológicos y, en ocasiones, críticas a teorías, resultados o métodos propuestos. Ese proceso de asimilación constructiva se acompaña de factores igualmente importantes como son las apreciaciones sobre la función de la ciencia en la sociedad, el comportamiento del científico y otros (Benarroch, 2000).

Uno de los aspectos fundamentales en la formación de científicos es el análisis de la relación entre la construcción del conocimiento en ciencia y su transmisión a los aprendices de científico, los estudiantes. No se trata sólo de que aprendan una serie de conceptos y teorías sino de que adquieran las habilidades que los capaciten tanto para la realización de investigación científica como para la aplicación del conocimiento científico en la solución de problemas concretos. Uno de los problemas más importantes que ha tenido la enseñanza de la ciencia en México, a este respecto, es su fundamentación positivista. Entre otras cuestiones esta concepción implica que el aprendizaje de la ciencia involucra la adquisición de todo el conocimiento alcanzado por dicha ciencia (enciclopedismo) y que se complementa con la participación de los estudiantes en prácticas de laboratorio donde aprenden el método científico, siguen procedimientos científicos definidos, frecuentemente rígidos, que no permiten datos erróneos y se esfuerzan por efectuar experimentos que prueban hechos conocidos sobre proyectos que frecuentemente no son relevantes para los estudiantes, por lo que éstos pueden cuestionar por qué están efectuando esa actividad y cuál es su utilidad. Así, la escolarización de la ciencia se convierte en la reproducción de lo conocido más que en el descubrimiento de lo desconocido.

La ciencia, como un campo de conocimiento, puede ser descrita teniendo dos tipos de estructuras de conocimiento, por lo que la educación en ciencia involucra enseñar las estructuras sustantivas de hechos, teorías y proposiciones, tanto como las estructuras sintácticas, procesos por los cuales las declaraciones son formuladas, probadas y argumentadas (Schwab, 1962; Carlsen, 1992).

El aprendizaje de conceptos científicos ha sido siempre difícil para los estudiantes de todos los niveles escolares. Existen muchos factores que intervienen en esta situación, de los cuales uno muy importante es el conjunto de características del conocimiento científico con sus exigencias de abordaje lógico, metodológico y en buena medida, abstracto. La conceptualización que va construyendo un estudiante en el transcurso de los programas escolares muestra los efectos de los problemas de la enseñanza inadecuada, la dificultad del conocimiento científico y sus hábitos personales, todo ello desarrollado en un contexto social que no la favorece.

Hay una gran acumulación de conocimiento científico que hace indispensable la delimitación de los conceptos que deben ser aprendidos en los diferentes niveles de educación. Esta es una tarea que requiere de un profundo conocimiento de teorías, conceptos y métodos de la ciencia, así como de las características cognoscitivas del educando y de los métodos y técnicas de enseñanza idóneos tanto para el nivel de instrucción como para la disciplina que se enseña. Por ello, la transmisión del conocimiento científico se convierte en uno de los problemas de la ciencia misma debido a la importancia de reproducir el sistema, es decir, de formar nuevos científicos.

La educación superior en ciencias ha funcionado como una estructura social destinada al control de la técnica y del conocimiento avanzados. Su personal académico maneja estos materiales intelectuales de manera muy diversa. Al instruir a sus estudiantes, está empeñado en su transmisión.

Los educadores deben comprender la ciencia que ellos deseen compartir con sus estudiantes. La sola posesión del conocimiento no es suficiente, pues se requiere que el maestro reflexione sobre sus propósitos para enseñar ciencia. La ciencia requiere de pensamiento creativo y crítico (Cunningham y Helms, 1998).

Desde la perspectiva epistemológica, Bachelard (1973, 1982) hace notar los problemas en la construcción de las nociones científicas por medio de lo que denomina “obstáculos epistemológicos”, que presentan los sujetos tanto en la comprensión como en el desarrollo del conocimiento científico y cómo estos problemas se trasladan al campo de la enseñanza. La enseñanza de la ciencia ha desarrollado metodologías y paradigmas propios.

1.3.1 INFLUENCIA DEL LIBRO DE TEXTO

Los libros de texto representan una de las principales variables en el proceso enseñanza-aprendizaje, junto con los maestros, alumnos, currículum e instalaciones escolares, especialmente laboratorios.

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 currículum 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. El contenido 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 (Eltinge y Roberts, 1993; Potter y Rosser, 1992), pues numerosos maestros se apoyan demasiado en ellos, frecuentemente siguiéndolos página a página, por lo que definen qué enseñan los docentes y qué aprenden sus alumnos (Chiappetta y otros, 1991).

Pese a que existen diversas ayudas didácticas, los estudiantes aún consideran el libro de texto como una de sus principales fuentes de información. Cuando los estudiantes intentan comprender un concepto, usualmente recurren al libro de texto, al maestro y a sus compañeros de aula (Staver y Lumpe, 1993).

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, 1988). Incluso, el célebre y ya mencionado 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, 1993).

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.

La comprensión de las ideas científicas presentes en los libros 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 y otros, 1992).

El uso cuidadoso de los libros de texto de ciencias ayuda al estudiante a desarrollar la habilidad para tratar con vocabulario especializado y con la dificultad de conceptos que caracterizan a los textos científicos (Lyman y Willett, 1995).

Fuentes documentadas han atribuido principalmente a maestros y libros de texto la comprensión e incompreensión 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 puede ser inapropiado y contribuir a que los estudiantes

adquieran problemas conceptuales que son penetrantes, estables y resistentes al cambio (Santelices, 1990).

Desgraciadamente parece existir un gran consenso en la pobre calidad instruccional de los libros de texto de ciencias, 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 (Gottfried y Kyle, 1992).
- Debido a que no hay una selección de los conceptos más importantes de cada tema, 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, 1988).
- 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.
- 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 y otros, 1991). Los estudiantes son “atrapados” por la eficiencia en memorizar el “hecho científico” al responder cuestionarios y al aplicar fórmulas para resolver problemas.
- Los libros de texto usualmente muestran una inadecuada introducción de muchos conceptos, uno de ellos es el de la estructura de la materia, por lo tanto, los alumnos son incapaces de hacer conexiones entre los conceptos involucrados.
- Numerosos estudiantes se quejan de la cantidad de material y detalles de la mayoría de los textos (Gillespie, 1997). A los estudiantes con frecuencia se les da poco tiempo para analizar, interpretar o discutir sus ideas sobre la información científica. Así, muchos conceptos y mucho vocabulario estudiados superficialmente pueden provocar frustración en los alumnos (Stucke y Gannaway, 1996).
- Una de las principales fuentes de error que exhiben los libros de texto radica en la deficiencia en la secuencia y relación de los temas que presentan.

- Frecuentemente la información contiene errores en el manejo de conceptos, por la 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, 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.

- El proceso de visualización es muy importante en el aprendizaje de conceptos científicos. El uso de analogías y modelos en un texto de ciencias es útil para ayudar a los alumnos 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, 1990). En muchos libros franceses los modelos se presentan como objetos reales. Libros ingleses y australianos de ciencias físicas carecen de explicaciones sobre la función de teorías, leyes y modelos (López, 1993).

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 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, 1993). Sin embargo, hay puntos de vista pesimistas de los beneficios de las ilustraciones en textos educativos, 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 interpretar; incluso, con frecuencia tienen errores o refuerzan preconcepciones erróneas.

- Otro 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 están actualizados (Musheno y Lawson, 1999; Storey, 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.

1.3.2 IMPORTANCIA DE LOS PRECONCEPTOS EN EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

La Teoría de Aprendizaje Cognitivo de Ausubel (Ausubel y otros, 1978) postula que los conceptos relevantes 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, misconcepciones, 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 y otros, 1985). 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 el abarcar un amplio rango de conceptos científicos (Vázquez, 1990).

Estas creencias pueden ser firmemente retenidas por el 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, 1990).

La incompreensión y las preconcepciones de estudiantes en la ciencia escolar a todos niveles, constituyen un problema fundamental para educadores, investigadores, maestros y, por supuesto, para los 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 (Krnell y otros, 1998).

En ocasiones las creencias de los alumnos pueden interferir con las ideas que se imparten en clase, presentándose situaciones como que el alumno malinterprete las ideas o conceptos dados por el maestro o el libro de texto, reforzando los que él ya poseía, o bien, las creencias de los alumnos pueden mezclarse con la concepción científicamente establecida, ambas pueden coexistir, incluso siendo contradictorias, pues el alumno rechaza el punto de vista del profesor, pero lo estudia exclusivamente con fines académicos, sobre todo con el propósito de aprobar exámenes.

Gabel (1989), Griffiths y Preston (1992) y Nakhleh (1992) expresan que hay formas obvias en las que los estudiantes adquieren preconceptos:

a) De la naturaleza, considerando sus observaciones sobre los fenómenos alrededor de ellos, pues a veces los sentidos “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 un 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 común. Esto puede explicar por qué, cuando los alumnos están aprendiendo nuevas ideas científicas, concepciones anteriores asociadas con palabras permanecen en forma dominante o importante durante largo tiempo (Veiga, 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 de forma inapropiada. 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, 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, pues si los conceptos no están claramente definidos, explicados y relacionados, los maestros y los libros pueden contribuir a incomprendiones conceptuales demostradas por los estudiantes, en general de ciencias (Cho y otros, 1985; Pozo y Llorens, 1993; Alvarado, 2000)

Se sabe que los alumnos construyen el conocimiento 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, 1992; Barroso y otros, 1993).

1.3.3 IMPORTANCIA DE LAS ANALOGÍAS Y LOS MODELOS

Las analogías y los modelos juegan un papel clave en las explicaciones en ciencias en general; los maestros y los autores de libros de texto los emplean para elaborar representaciones más accesibles de teorías abstractas (tal es el caso de la teoría cinética molecular) o para introducir temas relacionados con entidades no observables como átomos y moléculas. Ambos son elaborados considerando similitudes con respecto al objeto, proceso, etcétera, que representan.

Aunque los estudiantes frecuentemente emplean analogías como: “Gotas de agua en una nube como electrones en una nube electrónica”, el uso de analogías no siempre produce 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 Z, porque no piensan igual (Thiele y Treagust, 1995).

Cada día de sus vidas, los estudiantes interactúan con el mundo natural, observan sus rasgos y platican con otras personas acerca de sus experiencias e ideas. Además de estas experiencias acumuladas, los estudiantes desarrollan explicaciones rudimentarias o modelos mentales de muchos objetos y fenómenos, incluyendo la materia. Estas ideas intuitivas influyen directamente en el aprendizaje del estudiante en el aula, y debido a que sus experiencias individuales son muchas y variadas, la influencia de este conocimiento anterior sobre el aprendizaje varía de estudiante a estudiante (Harrison y Treagust, 1996).

Para Vosniadou (1996), los modelos mentales son una clase especial de representación mental, una representación analógica, que generan los individuos durante su función cognitiva. Los modelos no requieren ser técnicamente exactos, pero sí deben ser funcionales.

El desarrollo y uso sistemático de modelos en ciencias, puede contribuir a generar una más adecuada comprensión con relación a conceptos como luz, electricidad, membranas semipermeables, ácidos y bases, velocidades de reacción, leyes de la herencia y estructura atómica.

Como consecuencia de su flexibilidad (pues existen diversas categorías de modelos: analógicos, matemáticos, fórmulas químicas, diagramas de procesos, incluso modelos materiales), facilitan las explicaciones producidas por diversos sectores de la comunidad científica. Mientras más visualizables y recordables sean, mejor.

Sin embargo, para muchos estudiantes los modelos son confusos. Este problema es particularmente severo para jóvenes estudiantes y para aquellos cuyo razonamiento abstracto es débil. Muchos estudiantes creen que hay una correspondencia 1:1 entre el modelo y la realidad (Harrison y Treagust, 1996).

Desde el punto de vista pedagógico es importante destacar la negativa costumbre de maestros y autores de libros de texto de ciencias de presentar modelos y teorías como datos brutos de la

realidad, provocando que fácilmente el alumno malinterprete la naturaleza de los modelos científicos, pues no logra una distinción clara entre el modelo científico y el mundo real.

Los estudiantes tienden a ver los fenómenos relacionados con la composición y estructura de la materia a nivel macroscópico, mientras que las explicaciones científicas requieren que piensen en el nivel microscópico, pues tratan con átomos, moléculas y iones que son inimaginablemente diminutos, por lo que se recurre al uso de diversos tipos de modelos para explicar la conducta de estas partículas.

1.3.4 INFLUENCIA DEL CONTEXTO, LA INTERACCIÓN Y EL DISCURSO EN EL AULA

Todas las personas estamos expuestas al proceso de acceso al conocimiento ya sea en sus modalidades más informales, fuera de la escuela, o en las más formales, dentro del aula, en la que se concentra el conocimiento científico. En ese proceso de acceso, diversas condiciones educativas introducen matices en el conocimiento, a veces hasta llegar a errores.

La ciencia es un producto de la cultura que la produce. Los valores socioculturales influyen fundamentalmente el proceso de adquisición de contenidos y aplicación del conocimiento científico. Volverse un científico implica ver el mundo en una forma particular: comprender y usar un cuerpo común de conocimiento; comprender cómo se articula un argumento apropiado dado un cierto contexto; conocer cómo presentar datos en forma social y científicamente apropiada. Por lo tanto, la educación en ciencias puede pensarse como una contribución a un proceso en el cual los novatos son iniciados dentro de una comunidad.

La Teoría del Aprendizaje Situado (Brown y otros, 1989; Vygotsky, 1934/1962) establece que el aprendizaje o conocimiento nunca ocurre en el vacío sino siempre en una situación sociocultural; que los descubrimientos científicos tienen un contexto pues están estrechamente relacionados con la sociedad y la tecnología. Este enfoque sociocultural del aprendizaje de la ciencia apoya que las ideas de los estudiantes son el resultado de la forma en que las ideas son introducidas, debatidas y aceptadas o rechazadas como resultado de las interacciones de los estudiantes tanto de unos con otros, como con sus maestros. Los estudiantes comprenden y hacen uso efectivo de sus ideas científicas en su discurso con otros en el aula.

Nuevas tendencias en Psicología Cognitiva establecen que es importante comprender cómo las representaciones y procesos mentales se relacionan con factores situacionales externos que influyen en el aprendizaje (Vosniadou, 1996). Así mismo, esta corriente postula que el conocimiento consiste de complejas redes de información y habilidades, y que el aprendizaje de nuevo conocimiento ocurre en el contexto de la influencia del conocimiento preexistente (Cochran, 1997).

Las instituciones educativas contribuyen a definir lo que en un periodo determinado se considera como saber legítimo y a unificar las disciplinas, otorgando así coherencia a estas portadoras organizadas de las materias académicas y de los “núcleos de conocimiento” que contienen. Por su lado, las escuelas profesionales y los programas interdisciplinarios combinan cursos y expertos provenientes de varias disciplinas, conformando así “mezclas de conocimiento” (Clark, 1991, 1997).

La escuela tiende a asumir a medida que los conocimientos progresan, una función de integración. Los hombres formados en una cierta disciplina o en una cierta escuela tienen en común un cierto “estilo”, literario o científico, y están dispuestos a mantener con sus semejantes una relación de comunicación inmediata. Lo que los individuos deben a la escuela es, en primer lugar, todo un acopio de lugares comunes y maneras comunes de abordar esos problemas (Bourdieu, 1989).

El discurso en el aula actualmente es un área importante de la investigación en educación, en particular en ciencias. Estudios etnográficos de prácticas científicas en las escuelas, documentan que lo que cuenta como ciencia es interaccionalmente establecido dentro de determinadas comunidades, incluyendo formas particulares de hablar, pensar, actuar e interactuar. El conocimiento y prácticas de disciplinas académicas son construidos en y a través del habla y acciones cotidianas de maestros y estudiantes (Kelly y Chen, 1999).

En el aula, los estudiantes se apropian del discurso de la ciencia: un conjunto de prácticas constituidas socio-históricamente para construir hechos, para integrar hechos en explicaciones, para defender y refutar propuestas, para interpretar evidencias, para usar y desarrollar modelos, para transformar observaciones en hallazgos y para argumentar teorías; ellos aprenden en el aula que aprender ciencia –leer, pensar y hacer– es único de una disciplina a otra. Incluso, leer ciencia es más difícil que otros tipos de lecturas, pues requiere un consenso especial.

Lemke (1987) argumenta que las creencias sociales acerca de la ciencia y el aprendizaje pueden limitar el diálogo en el aula, convirtiendo el aprendizaje de la ciencia más difícil para la mayoría de los estudiantes quienes pueden ver unos temas más o menos significativos o importantes para su vida y trabajo futuros, particularmente cuando ciertas disciplinas son vistas por los estudiantes como teniendo más status o prestigio en la sociedad. Incluso, para promover la identificación con una disciplina o un área de ella, los maestros pueden enviar el mensaje de que otras disciplinas no son útiles o importantes.

Las condiciones sociales en que se encuentra el estudiante son las que le permiten producir conocimiento. Estar expuesto a conocimiento científico nuevo producido socialmente, en interacción frecuente con diversas fuentes tales como profesores, sus compañeros y material complementario, le ofrece el potencial para producir conocimiento propio que tendrá contenidos y características en común con dichas fuentes. En el contexto escolar del aula, el profesor tiene la función de incidir directamente sobre el aprendizaje en la medida en que media, como un traductor, entre la experiencia histórica y científica y la cognoscitiva diferenciada de los estudiantes que tiene ante sí (Campos y Gaspar, 1996b). Con base en esta estructura contextual se puede esperar que el conocimiento aprendido mantenga las características del conocimiento científico disponible que se debe aprender.

Los profesores tienen una poderosa influencia sobre el proceso de la aplicación del currículum, pues alteran significativamente los currícula intencionados para hacerlos más congruentes con sus propios contextos de enseñanza y sistema de creencias. Ellos adoptan el currículum dependiendo de sus conocimientos y prioridades, pero a la vez influyen en la aplicación del currículum al decidir qué temas y actividades son apropiados para sus estudiantes. Además, usualmente para los maestros se dificulta un currículum que enfatiza valores diferentes de aquellos que acostumbran manejar. Como resultado, los currícula aplicados son frecuentemente diferentes de los currícula intencionados o propuestos.

La perspectiva teórica denominada Interaccionismo Simbólico está basada en la suposición de que el conocimiento y los significados son negociados por los individuos a través de las interacciones de unos con otros. Los individuos le dan significado a símbolos particulares y actúan basándose en los significados que construyen acerca de esos símbolos con los que interactúan en situaciones particulares. La perspectiva interaccionista fue ampliada por la

“Perspectiva Semiótica Social” de Lemke (1987, 1990), quien describió al lenguaje como un proceso formador de significados. Pero la perspectiva semiótica sugiere que los individuos al interactuar construyen “sistemas de significados”, que son definidos por y para definir contextos particulares.

El conocimiento se puede manifestar de diversas maneras, como texto, figuras o símbolos, cada una de ellas comunicando múltiples significados. La más generalizada, porque posee significados compartidos socialmente, es la que usa conceptos o categorías lingüísticos (Archer, 1990). En este caso, la estructura del conocimiento temático que se tiene en un momento dado, lo que se sabe en la relación con un tema específico, se expresa mediante estructuras discursivas (Fredericksen, 1983; Lemke, 1990), en forma verbal (oral o escrita) de acuerdo con el potencial sintáctico que posea la persona. El discurso es un instrumento muy poderoso porque permite captar, organizar y expresar la realidad y sus representaciones, además, por su intermedio se muestran directamente estructuras de conocimiento.

La organización conceptual contiene conceptos, conexiones lógicas e imágenes respecto de una zona de conocimiento (Campos y Gaspar, 1966a), los cuales están articulados en dos dimensiones, la semántica y la epistemológica, que dan significado y justificación al contenido. Un concepto define un objeto, un evento o un proceso. Los conceptos formalizan significados, describiendo y explicando los objetos a los que se refieren; es decir, el aparato cognitivo es semánticamente activo, proceso en el que se unen pensamiento y lenguaje (Vygotsky, 1934/1962).

Lemke (1990) sugiere que los procesos de aprendizaje de la ciencia están conectados a la comprensión de los aprendices, a los formatos de razonamiento y al habla y escritura en la comunidad que constituye la disciplina de estudio; los estudiantes deben estar conscientes de que se deben familiarizar con los diversos términos de cada campo de conocimiento y que deben adquirir y usar el lenguaje apropiadamente en diferentes situaciones.

El lenguaje es una herramienta útil que puede ser usada por los individuos, consciente o inconscientemente, para influir en el pensamiento y conducta de otros. El lenguaje puede ser selectivamente usado e impuesto a los estudiantes como un medio de fomentar el diálogo académico que controla la identificación y solidaridad de una comunidad. Las aulas representan comunidades o redes constituidas de individuos en las cuales los estudiantes tienden a adoptar patrones del lenguaje del maestro, para convertirse en parte de la comunidad del salón de clases. Los maestros, a su vez, fomentan el empleo de terminología y conceptos de su disciplina.

Hay maestros que creen que su énfasis en el lenguaje, particularmente términos y lenguaje especializado, ayuda a desarrollar la comprensión de los estudiantes acerca de los conceptos, incluso fomentando el que memoricen los símbolos del nuevo lenguaje. Esto es respaldado por Lemke (1990): “el lenguaje de cada campo especializado tiene sus propios y únicos patrones semánticos, sus propias y específicas formas de hacer significados”. Así, por ejemplo, un profesor de Química manifestó: “El lenguaje de la Química: las fórmulas químicas”.

Lemke (1987) apunta el peligro de enfatizar una forma científica de hablar, excluyendo la cotidiana, pues ésta puede ser más útil para ayudar a los estudiantes a ver y hablar acerca del

mundo. En esta forma los estudiantes son capaces de ver a la ciencia como una actividad que se ha desarrollado por la necesidad de la gente de comprender al mundo.

Insistir en que el lenguaje científico es preciso y cuidadoso puede enviar el mensaje de que el conocimiento científico es irrefutable, inamovible y representativo de verdades últimas, promoviendo la ideología de la autoridad de la ciencia (Lemke, 1987). Tal mensaje puede guiar a los estudiantes a creer que hay un consenso completo sobre los temas científicos entre miembros de la comunidad científica, una idea que filósofos de la ciencia, que muchos científicos, argumentan como inexacta.

Roth y Lucas (1997) denominaron “repertorios interpretativos” o “recursos discursivos” a los diversos enunciados utilizados en un particular contexto del discurso, para interpretar la realidad:

- El repertorio intuitivo invoca el conocimiento innato, el sentido común, y las experiencias personales. Los estudiantes frecuentemente recurren a él para respaldar sus enunciados acerca de la naturaleza.
- El repertorio racional invoca el ejercicio de un sólido razonamiento, un pensamiento válido o conexiones lógicas de eventos.
- El repertorio empiricista se fundamenta en el aspecto experimental del trabajo científico. Invoca al método científico clásico, en particular, a la observación, la experimentación, la prueba de hipótesis y la construcción de teorías.
- El repertorio perceptual invoca la interacción individual con el mundo a través de observaciones directas o indirectas, mediante los sentidos.
- El repertorio representacional invoca el papel del lenguaje en la teorización científica, modelos científicos de fenómenos, técnicas matemáticas, o el desarrollo de nuevas formas de visualizar el mundo, considerando que el lenguaje ocasionalmente falla o es inadecuado como herramienta para describir fenómenos.
- El repertorio autoritario invoca a la influencia de un paradigma científico establecido o a la opinión expresada por un experto.
- El repertorio cultural invoca el impacto sobre los individuos de normas aceptadas de pensamiento, conducta, valores y creencias en sociedades particulares. Así, la “personalidad” de un científico ha sido moldeada por aquellos que lo rodean. El hecho de que las personas de diferentes culturas tengan diferentes formas de explicar o contar fenómenos naturales, puede deberse en gran parte a las creencias y valores dentro de cada cultura.

Los repertorios interpretativos generalmente no se presentan separadamente; los alumnos frecuentemente recurren a múltiples repertorios en el mismo argumento.

Los científicos deben procurar ser claros y expresivos, sin embargo, experimentan con frecuencia dificultad para comunicar sus hallazgos a no científicos.

La educación en ciencias debe contribuir a que el estudiante adquiera sentido del mundo. Describir “cosas” y explicarlas son actividades críticamente importantes para alcanzar ese propósito, sin embargo, tradicionalmente en las ciencias biológicas se ha recurrido mayormente a la descripción proporcionando únicamente información, mientras que en las ciencias físicas se procura proporcionar explicaciones que implican relaciones causa – efecto. Es común ver cómo

los maestros en ciencias y los alumnos usan las descripciones de un evento o proceso como equivalente de su explicación.

En ciencias, con frecuencia se evocan dos clases particulares de “explicaciones” conocidas como teleología y antropomorfismo. Teleología se refiere a casos en los cuales los fines (propósitos) son usados como explicaciones de cómo ciertas estructuras están constituidas (por ejemplo: “El intestino de animales herbívoros es más largo que el de los animales carnívoros para ser capaces de digerir volúmenes mayores de alimento, los cuales son necesarios para el funcionamiento normal de los vegetarianos”) o de cómo ciertas funciones pueden ser efectuadas (por ejemplo: “las plantas de interiores se orientan hacia la ventana para obtener más luz, incrementando así su velocidad de fotosíntesis”). Esta clase de explicaciones implica que el beneficio derivado de una estructura o proceso particular es una explicación suficiente. La aceptación de explicaciones teleológicas implica la atribución de conciencia a seres no humanos. El antropomorfismo se refiere a la manera de atribuir razonamiento humano a seres no humanos, en términos de deseos, intenciones y propósitos (por ejemplo: “Los cationes prefieren irse al electrodo negativo”). Las explicaciones teleológicas y antropomórficas son relativamente fáciles; las explicaciones causales son más complejas y requieren un tratamiento profundo y extenso (Tamir y Zohar, 1991).

Así, analogías, modelos, teleologías y antropomorfismo son auxiliares de las explicaciones de diversos conceptos científicos caracterizados por su elevado grado de abstracción.

CAPÍTULO II. LOS CAMPOS DISCIPLINARIOS

Todos los grupos humanos tienen alguna forma de organización social. Es una constante universal que todo conjunto de individuos que interactúan regularmente, posee la capacidad de construir normas culturales según las cuales se organiza una ecología social, pero las formas particulares que asume esta organización social son específicas del conjunto de individuos que intervienen en ella. Cada individuo del conjunto tiene un particular punto de vista. Durante el transcurso de la ejecución de ciertos tipos reiterativos de acontecimientos, algunas de estas perspectivas individuales pasan a ser intersubjetivamente compartidas por los miembros del conjunto interactuante. Cada miembro se va aproximando a las perspectivas de los demás produciéndose una relativa correspondencia entre los distintos puntos de vista individuales, aunque éstos no son idénticos (Erickson, 1989).

Los individuos y la sociedad poseen un “núcleo” común de experiencias, lenguaje y conocimientos básicos, interconectados en un conjunto de redes que pueden denominarse nuestra “cultura común”, y los cuales adquieren su significado sólo desde una estrecha interacción. Es imposible delimitar estrictamente los límites entre planos culturales, sin embargo, es claro que experiencias, lenguaje y conocimiento común forman la estructura de referencia con respecto a toda particularización cultural.

Existen diversos niveles y muchas ramificaciones en nuestra propia cultura común, requiriéndose bases comunes necesarias para nuestra comunicación cotidiana y estructuras muy particulares peculiares de la mayoría de las áreas especializadas, con líneas divergentes específicas según contextos, intenciones, competencias, etc.

Para Geertz (1989) cultura es “un patrón” de significados transmitidos históricamente e incorporados en símbolos; es un sistema de concepciones heredadas expresadas en forma simbólica por medio del cual los hombres comunican, perpetúan y desarrollan sus conocimientos y sus actividades hacia la vida. Una cultura básica común juega un papel esencial en la vida de todos los individuos y grupos.

El conocimiento avanzado moderno tiene un carácter especializado, históricamente compuesto de especialidades que se multiplican continuamente; así, el crecimiento del conocimiento conduce a su división. La partición de nuestra cultura en más y más corrientes y redes definidas, eventualmente desarrolla disciplinas denominadas también campos de conocimiento, culturas epistémicas, campos disciplinarios, comunidades epistémicas, etc.

Las disciplinas y sus especialidades son útiles para distinguir y calificar la realidad; para orientar la vocación y la sensibilidad hacia prácticas y reflexiones, y para reunir en acervos manejables el número extraordinario de fenómenos –y combinaciones de ellos– presentes en la naturaleza y las culturas. Sin embargo, las disciplinas no son más que una faceta, un truco intelectual para estudiarlas.

A la naturaleza dinámica y de cambio continuo, las disciplinas agregan un recorte más: desde la visión peculiar de la especialidad, cada una es dividida a su vez en subespecialidades.

Las muchas agrupaciones del saber que se han construido –en oficios y disciplinas– son núcleos de conocimiento útiles para discernir problemas y destacar soluciones por especialidades. Se puede distinguir cuándo un problema es asunto de un herrero, de un astrónomo o de un sociólogo, y podemos también, cuando un problema concierne a la antropología, a la economía o a la sociología, destacar una explicación –o una solución– que será seguramente diferente, según el punto de vista de cada una de las disciplinas. Cada núcleo de especialidad atrapa conocimientos de otros núcleos próximos, pero también aparta o desvía ideas, saberes y soluciones que gravitan en sus límites de influencia. En las fronteras indeterminadas de cada núcleo hay a veces intercambios y se comparten nuevas posiciones ante un problema; en otras ocasiones, el celo, el desdén, o la ignorancia excluyen la visión, los paradigmas, las hipótesis, las teorías, los métodos y las soluciones de los otros núcleos.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS CAMPOS DISCIPLINARIOS

El desarrollo teórico de una disciplina no es algo siempre coherente y organizado, sino que suele constituir un torrente desperdigado de producciones específicas que van aportando conceptos, experimentos y datos, aislados o estructurados sectorialmente. Sólo de vez en cuando, algunos especialistas emprenden el esfuerzo de organizar y sistematizar ese cúmulo de aportaciones, intentando engarzar el conocimiento disponible en una visión de conjunto que reconstruya, de forma inteligente, todo lo que hasta el momento se sabe de ese campo de conocimiento, así como las conexiones internas que se establecen entre esas aportaciones. Cada especialista necesita previamente decidir qué conocimiento del producido por la comunidad científica corresponde a su disciplina y cuál no, es decir, necesita definir, delimitar, su disciplina (Contreras, 1994). Han existido muchas vicisitudes para lograr que las distintas ramas del conocimiento sean reconocidas y se consoliden.

Para que los miembros de una misma comunidad epistémica tengan acceso a las mismas razones con respecto a una determinada creencia, es preciso que compartan ciertas cosas, entre otras, creencias previas, reglas de inferencia, normas y valores epistemológicos, metodológicos, e incluso éticos y estéticos, de tal manera que puedan comprender y someter a discusión racional las ideas propuestas por otros miembros de la comunidad y, como resultado de tal discusión, llegar a aceptar de común acuerdo ciertas proposiciones como razones que apoyan otras proposiciones. El conjunto de elementos mencionados son los que conforman un cierto marco conceptual de la comunidad epistémica (Olivé, 1995).

Lo que existe como “realidad” para el individuo está en gran medida determinado, por lo que es socialmente aceptado como real. La realidad, pues, no es absoluta; difiere según el grupo al que pertenece el individuo. Toulmin (1972) y Vygotsky (1962, 1978) argumentan que el conocimiento es fundamentalmente social, desarrollado y sostenido por comunidades tanto como por los individuos dentro de esas comunidades. La dimensión social de la comprensión científica involucra la habilidad de participar en actividades que son características de comunidades de personas científicamente alfabetizadas. En particular, miembros de estas comunidades usan formas especializadas de lenguaje, que los capacita con precisión a describir, explicar, predecir y controlar fenómenos o sistemas en el mundo que los rodea.

Knorr-Cetina (1999) denomina “culturas epistémicas” a amalgamas de arreglos y mecanismos, unidos a través de afinidades, necesidades y coincidencias históricas que crean y garantizan el conocimiento en diferentes dominios y que poseen su propia organización, estructura y dinamismo.

Grediaga (1999) considera a las disciplinas como espacios intelectuales y sociales que tienen una lógica propia, derivada de un proceso de acumulación de conocimiento y del desarrollo de estrategias teóricas y metodológicas comunes, cada vez más eficaces para contender con los complejos procesos de observación, medición y experimentación necesarios para la construcción del conocimiento científico, aunque también, como resultado de las exigencias que la sociedad hace a los distintos campos de conocimiento. Ella expresa que algunos de los rasgos comunes de las comunidades disciplinarias son:

- a) Cuentan con una delimitación de un campo problemático.
- b) Desarrollan estrategias teóricas para abordar sus problemas, es decir, poseen y han acumulado un cuerpo de conceptos y de evidencia empírica sobre los problemas de su campo.
- c) Poseen representaciones mentales extremadamente similares con respecto a los contenidos temáticos de la disciplina a la que pertenecen.
- d) Disponen de un acervo metodológico-técnico que provee a sus miembros de instrumentos para producir, evaluar y validar el conocimiento producido.
- e) Dominar el conocimiento y las herramientas acumuladas en cada campo se convierte en un requisito para incorporarse a la comunidad que las practica y desarrolla, fundamentalmente a través de procesos de escolarización, que implican un proceso formal de enseñanza-aprendizaje y paralelamente una socialización secundaria
- f) El sector académico de las comunidades disciplinarias define el currículum que determina los rasgos que deben cumplir sus nuevos miembros y los valores relacionados con las formas de producción y validación del conocimiento en su campo.
- g) La diferencia de los objetos que cultivan los distintos campos de conocimiento o disciplinas produce diferencias en la forma de transmitir los conocimientos.

Las disciplinas son ante todo formas, más o menos sistemáticas, de transmitir conocimientos, cuerpos conceptuales y saberes (habilidades o formas de proceder en la investigación), relativos a ámbitos o aspectos particulares de la actividad humana. En este sentido, pueden entenderse como configuración y transmisión de tradiciones, que no involucran únicamente los resultados – siempre provisionales – de la disciplina de que se trate, sino también el conjunto de preguntas – muchas veces reformuladas en el plano conceptual – a partir de las cuales se fueron generando estos mismos resultados. La diferencia de los objetos que cultivan los distintos campos de conocimiento o disciplinas produce diferencias en la forma de transmitir los conocimientos.

Las “fronteras disciplinarias” –también provisionales y sujetas a permanentes reconsideraciones – no son tan sólo fronteras entre disciplinas. En el interior de cada disciplina, las distintas tradiciones y corrientes conceptuales que la constituyen como tal, han ido y siguen estableciendo deslindes y fronteras –sin duda precarios– entre los ámbitos de pertinencia propios de cada cuerpo conceptual. Por lo mismo, la mejor preparación para trabajos de investigación en el que se lleguen a involucrar varias disciplinas, pasa por la adquisición de un dominio sobre la propia disciplina, y en particular por el examen crítico de sus fronteras tanto externas como internas. El dominio sobre la propia disciplina es lo que permite al investigador detectar puntos ciegos conceptuales y señalarle la necesidad de acudir a disciplinas aledañas, que le proporcionen los conocimientos o los instrumentos conceptuales que puedan auxiliarse en la reformulación de esos puntos. Sin embargo, estas incursiones en disciplinas aledañas, y la utilización que se haga de sus conocimientos o sus instrumentos conceptuales, permanecen supeditados a las exigencias del objeto de investigación propio.

Además de asegurar la transmisión de las tradiciones conceptuales de que se trate, la formación disciplinaria contribuye a la educación de la capacidad de juicio, al fomento de la capacidad imaginativa y creativa y a la formación ética de quien busca apropiársela. En efecto, no hay formación en una disciplina cualquiera que no coloque a quien busca adentrarse en ella, ante la necesidad de recabar y verificar cuidadosamente los “datos” en los que ha de fundar sus juicios; de fundamentar estos juicios con rigor y coherencia; de evaluar los alcances y las limitaciones de estos juicios; de contrastarlos con otras conceptualizaciones y otros resultados; de detectar, con

base en este diálogo con otros, puntos ciegos y encrucijadas conceptuales; y de imaginar posibles “soluciones” a estas dificultades inherentes a cualquier pensamiento activo.

Existen tradiciones y debates conceptuales que definen a una disciplina como tal y que conlleva esfuerzos constantes de deslinde entre los ámbitos de pertinencia de los diferentes cuerpos conceptuales (“teorías”) que concurren en la configuración de una misma disciplina.

Clark (1991) define a una disciplina como una forma de organización de especialistas por campo de conocimiento, la cual no se especializa por localidades, sino que agrupa a una comunidad de interés de tipo gremial con amplia extensión territorial. Es importante destacar que trasciende los establecimientos, vinculando sectores de uno con sectores similares de otro establecimiento. El alcance de la disciplina no se contiene necesariamente dentro de los límites de un sistema nacional; los científicos académicos, en particular, se sienten miembros de una comunidad mundial. Sus perspectivas e intereses disciplinares se extienden a muchas naciones. Sus integrantes tienen más en común con sus contrapartes especializadas en el extranjero, con quienes “hablan el mismo lenguaje”, que con aquellas personas más cercanas pero ajenas a su especialidad.

Algunos departamentos, facultades y escuelas de las universidades, varían en cuanto a las características de los cuerpos y destrezas con que trabajan y comprenden campos de conocimiento bien desarrollados y claramente estructurados, como las ciencias naturales, la ingeniería y la medicina; pero en las ciencias sociales “suaves”, las humanidades y las semiprofesionales como la educación y el trabajo social, se trabaja con cuerpos de saberes poco integrados y ambiguos. La variación, en suma, es por clase de disciplina y, por lo tanto, trasciende los establecimientos y los sistemas. La Física, con su cuerpo asegurado de contenidos teóricos y metodológicos, es en todas partes un campo más coherente y estructurado que la Sociología.

Schwab (1962) establece que el concepto de estructura de una disciplina se relaciona con que el contenido de la disciplina esté garantizado y sea significativo, que no sea una simple colección de datos, sino una organización en la cual cada enunciado dependa de los otros para darle significado. El estudio de las estructuras de las disciplinas es complicado y necesario para determinar el contenido y la organización del currículo escolar. Las estructuras de las disciplinas son importantes para la educación: son necesarias para los maestros y educadores, pues deben tomarse en cuenta para planear el currículo y preparar los materiales didácticos. El conocimiento científico (conocimiento obtenido a través de la investigación) es conocimiento de los hechos interpretados. Esta interpretación depende de los principios conceptuales de la investigación, considerando la estructura de la disciplina, es decir, el cuerpo de concepciones impuestas que definen el tema u objeto investigado de esa disciplina y el control de su investigación. Diferentes disciplinas poseen diferentes estructuras conceptuales, por lo que no es fácil referirse a la unidad de las ciencias. Biólogos y físicos, por ejemplo, continúan planteándose diferentes preguntas en sus investigaciones, buscan diferentes tipos de datos y formulan sus respectivos cuerpos de conocimiento en diferentes formas. Así, en Biología aún se continúan organizando los conocimientos acerca de los seres vivos, principalmente en términos de similitudes y diferencias. Los físicos, sin embargo, organizan el conocimiento sobre la conducta de la materia, midiendo sus cambios.

Schwab (1962) y Grossman, Wilson y Shulman (1989) argumentan que existen dos tipos de estructuras de conocimiento que distinguen a las disciplinas unas de otras:

- Las estructuras sustantivas (conceptuales). Se refieren al conocimiento de los principios de organización conceptual de una disciplina. Incluyen el conocimiento de hechos, conceptos, modelos y principios dentro de un área de contenidos y el conocimiento de las relaciones entre ellos, que guían el interés en una disciplina.
- Las estructuras sintácticas (metodológicas). Incluyen el saber histórico y filosófico sobre la naturaleza del conocimiento en una disciplina. Se refieren al conocimiento de los principios de investigación y valores inherentes al campo, y a los métodos con los cuales nuevas ideas se agregan, descartan o reemplazan por aquellas que producen conocimiento en el campo.

Andersson (1987; citado en Abd-El-Khalick y BouJaude, 1997) caracterizó el conocimiento disciplinario con tres componentes principales: estructura, función y desarrollo.

- a) Estructura. Se refiere a las relaciones entre hechos, conceptos y procedimientos. El conocimiento y comprensión por el maestro de los hechos y conceptos de la ciencia deben enriquecerse con el conocimiento de la estructura de la disciplina.
- b) Función. Relacionada con las actividades sociales y personales que el conocimiento de la ciencia prepara para que el individuo las efectúe. Con este conocimiento se puede relacionar la ciencia a las actividades cotidianas y experiencias de los estudiantes, haciendo relevante la ciencia para ellos.
- c) Desarrollo. Puede entenderse como el proceso histórico a través del cual el conocimiento asume su forma dinámica. Es la forma en que el conocimiento se desarrolla en los individuos, lo cual se refleja en el conocimiento de las concepciones alternativas de los individuos.

La estructura de la disciplina y una comprensión de la naturaleza de la ciencia asume las dimensiones sustantivas y sintácticas de la ciencia.

Los egresados de las carreras científicas poseen muy limitado conocimiento de la estructura, función y desarrollo de sus disciplinas científicas, incluso muestran una limitada comprensión de la naturaleza de la ciencia.

Carlsen (1991) menciona que muchos autores distinguen entre conocimiento disciplinario o público y el conocimiento de los individuos o creencias privadas. El “conocimiento público” de la ciencia es relativamente estático e invisible, incluye proposiciones, imágenes y algoritmos publicados en libros de texto y artículos científicos. Las “creencias privadas” comparativamente son dinámicas e idiosincráticas. Mientras el conocimiento público es una función de la práctica de la comunidad científica y docente, las creencias privadas son una función de las estructuras cognitivas del individuo. El conocimiento público que se presenta en una clase de bachillerato de física es el mismo para todos los estudiantes, pero cada estudiante desarrolla sus propias creencias privadas.

Las disciplinas como campos de conocimiento se desarrollan fundamentalmente en ámbitos académicos, en particular, mediante la investigación y la docencia. Esto hace referencia a un entorno en el que la amplitud y la pluralidad se definen como requerimiento de la práctica académica frente a la existencia de un paradigma, que es “una visión del mundo, una perspectiva general, un modo de desmenuzar la complejidad del mundo real”. Los paradigmas delimitan lo que es importante, legítimo y razonable en un campo. Un paradigma es una “matriz disciplinaria” que abarca generalizaciones, supuestos, valores, creencias y ejemplos comúnmente compartidos sobre el interés de la disciplina (Glazman, 2001).

A pesar de las diferencias que se registran en las distintas disciplinas científicas, cada una de ellas cumple con un conjunto de características, tales como:

- El conjunto de objetos estudiados constituye el ámbito de investigación propio de la disciplina, delimitando los problemas y cuestiones importantes. Qué cuenta como conocimiento y prácticas de una disciplina, y qué es relevante para una comunidad particular, pueden ser vistos como contruidos a través de la convencionalidad y formalización de procesos del discurso, como miembros afiliados a un grupo que ha construido un conocimiento común. Las comunidades científicas poseen prácticas particulares convencionales que son resultado de un largo proceso de negociación, transformación y crecimiento de las formulaciones centrales y argumentos relacionados. Los miembros de estas comunidades escriben en revistas con procedimientos de discurso especializado y estilizado y usualmente colaboran con sus colegas (Kelly y Chen, 1999).
- Una metodología rigurosa es propia de cada campo disciplinario, requiriendo coherencia y consistencia lógica en su fase puramente teórica y adecuación con los hechos en su fase experimental, no pudiendo ser aleatoria pues fundamenta los criterios para utilizar “herramientas” apropiadas para resolver problemas disciplinarios (metodologías, instrumentos, tipos y formas de recopilar datos); incluso dentro de una disciplina o campo disciplinario, la estandarización intenta el establecimiento de los mismos procedimientos mediante protocolos de laboratorio.
- Los sujetos que enuncian teorías y las someten a control forman parte de la comunidad científica. Esta es una sociedad disciplinada, cuyos miembros están capacitados para desempeñarse en ella, crear teorías y someterlas a crítica intersubjetiva. La comunidad científica debe ser una garantía de objetividad, aprobando o rechazando según el poder explicativo de las teorías. Un hallazgo es admitido dentro del cuerpo del pensamiento científico sólo si hay consenso entre la comunidad científica. La tarea científica se organiza bajo la dirección de teorías que establecen qué se estudia y cómo se hace. De esta manera, incluso, cada ciencia particular queda definida como tal.
- Se establecen grupos de trabajo muy compactos, con un líder que es coautor de la mayoría de los artículos de investigación elaborados por los miembros del grupo, gracias a lo cual él gana reputación. Sin embargo, los líderes aportan la dirección del proyecto y sus redes de relaciones en el campo, de las cuales dependen los participantes al conseguir recursos para la investigación.
- Cada cultura particular, especialmente las científicas, prácticamente elige una clase de lenguaje o formalización simbólica, que no es independiente de la experiencia y del conocimiento del cual emerge. El lenguaje es el medio para presentar los contenidos. Por lo tanto, es necesario

identificar la comprensión del lenguaje de la disciplina en el amplio contexto en el cual se presenta, para entender el ámbito de factores que influyen en su uso y su efecto sobre la enseñanza. Este concepto es conocido como la Naturaleza Situada del Discurso. El conocimiento disciplinario es construido y comunicado a través del habla y la interacción (Cochran, 1997).

Las relaciones interactivas, complejas y dinámicas entre lenguaje y conocimiento son diferentes de una disciplina científica a otra. La creciente especialización del conocimiento científico está inseparablemente relacionada a la aparición de nuevos lenguajes especiales, en particular, nuevas terminologías. Nuevos términos son acuñados o términos existentes son “tomados prestados” en un proceso metafórico de otros campos de estudio, modificando su significado; tal es el caso de los términos biológicos “virus” y “vacuna”, adoptados en el campo de la computación. Esto causa problemas de mutua comprensión inherentes a la comunicación científica que se vuelve más complicada en los diálogos interdisciplinarios (Budin, 1999).

Los científicos, en general, usan un intervalo de procesos de discurso que emplean para definir el conocimiento que cuenta dentro de una disciplina. La escritura en ciencias está normada por procedimientos, prácticas y normas de una comunidad, que constituye un determinado punto de vista del conocimiento de una disciplina (Kelly y otros, 2000).

- Cada disciplina tiene su propia historia, su propio estilo intelectual, su sentido específico de medir el tiempo, diferentes preferencias en cuanto a artículos y libros y diferentes lineamientos con respecto a las carreras.
- Los miembros de un grupo con una cultura común, tienen expectativas acerca de qué pueden hacer, con quién, cuándo, dónde, bajo qué condiciones, con qué propósitos y con qué resultados.
- Las disciplinas altamente estructuradas, como Física, Química, Matemáticas e Ingeniería, son de difícil permanencia. Los matemáticos organizan sus materias en secuencias específicas y establecen distinciones claras entre estudiantes principiantes, intermedios y avanzados. Colocan barreras a lo largo de todo el trayecto curricular, erigiendo los “prerrequisitos” como guardias a la entrada de las aulas. Estas barreras constituyen un embudo: la enorme mayoría de los estudiantes no accede a los niveles superiores, por mucho que lo deseen. Puesto que estas dificultades son percibidas por los estudiantes, ellos se “autoseleccionan” hacia otros campos: “En realidad no me conviene; es demasiado difícil”. Existen secuencias curriculares complejas en todas las ciencias físicas, biológicas y la ingeniería. Incluso, ciertas disciplinas son percibidas como más prestigiosas que otras, así, ante la sociedad, la Física está rodeada de una aureola de inteligencia.
- Hay ciencias en las que hay un gran acuerdo de la comunidad de especialistas acerca de las fronteras y características formales de su disciplina. Tal es el caso, en general, de las ciencias físicas, no obstante, en otros campos del saber, como es el caso, en general, de las ciencias sociales, esa delimitación es más confusa.
- Las comunidades toman decisiones sobre la producción, circulación y discriminación del conocimiento. Estudios educativos en ciencias han identificado las formas en que el

conocimiento disciplinario es construido interaccionalmente a través del discurso y de procesos interpretativos.

- Las comunidades científicas producen conocimiento que es más confiable (por ejemplo, dando predicciones precisas acerca de fenómenos observables, más que opiniones personales). Los maestros en ciencias se enfrentan así con la tarea de socializar a los estudiantes en prácticas particulares, que requieren ciertos criterios para evidenciar e identificar los límites del conocimiento científico (Kelly, 2000).

2.2 CLASIFICACIÓN DE LAS DISCIPLINAS CIENTÍFICAS

En la actualidad vivimos en una sociedad en la cual el conocimiento en el área de las ciencias es cada vez más especializado, integrando diversos campos disciplinarios. Este aspecto de la ciencia, la fragmentación, la diversidad de la ciencia contemporánea, se contrapone al argumento de la ciencia del Círculo de Viena, de finales del siglo XIX y principios del XX. Esta tesis de que había una sola clase de conocimiento, una sola ciencia y un único método científico, ha fracasado ante la evidencia de que las bases de las ciencias naturales no son aplicables a las ciencias humanas, existiendo incluso diferencias ontológicas y metodológicas entre las mismas ciencias naturales.

A pesar de ser reconocibles las fronteras entre los distintos campos de conocimiento, no es adecuado establecer fronteras rígidas ni entre las ciencias naturales y las sociales, ni dentro de las disciplinas que forman parte de cada una de ellas. A pesar de reconocer amplias diferencias de orden teórico y metodológico entre las diferentes disciplinas, según Piaget y García (1982) no podría decirse que existen diferencias radicales en el proceso de conocimiento (es decir, en la relación entre objeto y sujeto de conocimiento). Se reconocen diferencias en sus exigencias de experimentación y medición, así como en los grados de consenso teórico–metodológico, pero no en la necesidad de desarrollar modelos analíticos y de simulación.

En cuanto a la concepción de la ciencia como diversa en función del tipo de objetos que los sujetos estudian, Piaget señala que desde el nivel de la interacción del sujeto con el objeto en el proceso de conocimiento (para describir y tratar de entender la construcción y la evolución de las estructuras, categorías y procedimientos a conocer), se ponen en juego en el sujeto mecanismos similares, que son producto de la construcción de operaciones de coordinación lógica en el sujeto, que no son innatos, sino que se construyen y derivan de la experiencia acumulada en la manipulación y coordinación de los objetos.

En la perspectiva de la Escuela de Ginebra se reconoce que existen diferencias entre las ciencias (e incluso dentro de una misma ciencia al atender fenómenos de distintas escalas) en términos teórico–metodológicos. Así, las diferencias existen en cuanto a las posibilidades de observación, experimentación y medición de sus objetos. Esto tiene que ver con el desarrollo histórico y la acumulación de conocimiento y experiencia lograda en los distintos campos de conocimiento.

Las diferencias se ubican en lo que Piaget llama el nivel disciplinario o de epistemología interna, que consiste en la evolución teórico metodológica específica del desarrollo en cada disciplina, mientras que las similitudes de la ciencia se encuentran en el nivel de la epistemología general o derivada, representado por el proceso de interacción entre el sujeto y el objeto en la producción de conocimiento y el cumplimiento de las exigencias para formar parte del conocimiento científico. Los retos que representan la experimentación y la medición en las distintas ciencias se asocian con grados de dificultad variable en los distintos campos del saber.

Existen fronteras móviles entre las ciencias y una articulación e intercambio entre los distintos campos de la actividad científica, que impiden establecer una clasificación rígida entre las diversas disciplinas en cuanto al proceso de generación de nuevo conocimiento.

Algunos sociólogos de la ciencia (Becher, 1992) han considerado útil agrupar campos semejantes de conocimiento, resultando numerosos sistemas de clasificación, así:

- Biglan categorizó a las disciplinas empleando los términos “duras” o “blandas”, dependiendo de los procedimientos de validación y en “puras” y “aplicadas” según si buscan responder al por qué o al cómo resolver un problema concreto. Ninguna disciplina cabe enteramente dentro de uno de los cuatro grupos (duro–puro, blando–puro, duro–aplicado y blando–aplicado).

Con respecto a las tres disciplinas consideradas en esta investigación, a continuación se muestra una representación general de su cultura, según Becher, basándose en la clasificación de Biglan:

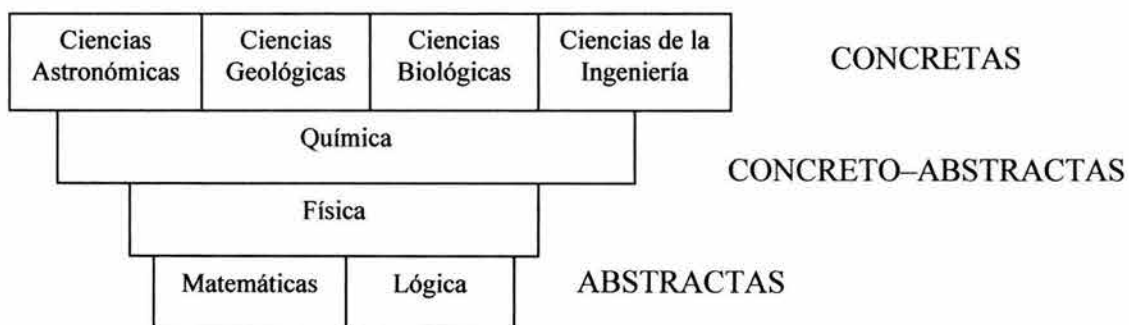
GRUPO DISCIPLINARIO	NATURALEZA DEL CONOCIMIENTO
Ciencias puras (duras – puras): Física, Química y Biología	<ul style="list-style-type: none"> - Acumulativa. Cada hallazgo se edifica sobre los hallazgos previos en progresión lineal - Atomista. Los problemas principales pueden subdividirse en segmentos más pequeños y atacarse individualmente. La estructura de la investigación es como un cristal, ya que crece debido a la acumulación y es divisible; es como un árbol, ya que continuamente brotan ramas de su tronco principal - Preocupada por lo universal y muchas veces por lo cuantificable - Simplificación. Se despoja un problema de sus complejidades para exponer las regularidades que subyacen a dichas complejidades, mediante teorías y leyes - El resultado de una investigación exitosa es un descubrimiento o cuando menos una explicación de lo que ha sido desconocido hasta ahora

Posteriormente agregó los términos “sistema de vida” y “sistema de no vida”. Él comenta que tanto el contenido como el método dentro de un campo están unidos a los procesos cognoscitivos de diferentes áreas.

- Kolb y otros, más vinculados con los estilos de aprendizaje, con la tradición empirista lógica y con los vínculos entre el lenguaje teórico y observacional, las clasifican en términos de los niveles de abstracción y concreción de sus objetos de estudio y de la orientación hacia la reflexión o resolución de problemas, proponiendo como ejes: el abstracto–concreto y el activo–reflexivo.

En el cuadrante abstracto–reflexivo agrupó las ciencias naturales y las matemáticas; en tanto que, en el cuadrante abstracto–activo incluye las profesiones basadas en las ciencias, principalmente los campos de la ingeniería. El cuadrante concreto–activo comprende la educación, el trabajo social y el derecho; el concreto–reflexivo, las humanidades y las ciencias sociales.

- Lodahl y Gordon agrupan a las disciplinas basándose en el desarrollo alto y bajo del paradigma en el planteamiento de Kuhn, en cuanto a que un paradigma “representa toda la constelación de creencias, valores, técnicas, etc., compartidas por los miembros de una comunidad científica dada”. Así, entre ellas hay un contraste en términos de las actividades de enseñanza, patrones de investigación y rendimiento, relaciones con estudiantes graduados, etc. Considerando este criterio, la Física podría ubicarse en la posición de desarrollo alto, seguida de la Química y luego por la Biología actual.
- Jensen (1998) menciona una clasificación jerárquica en que establece que las ciencias concretas tratan con clases específicas de objetos o cuerpos encontrados en el universo, mientras que las ciencias abstractas intentan establecer principios aplicables universales a todos esos cuerpos:



- Las ciencias se dividen en formales y fácticas (del latín “factum”: hecho)

Las Matemáticas y la Lógica son ciencias formales. Su objeto de estudio no existe en la realidad espacio-temporal; podría decirse, son signos vacíos que pueden ser interpretados, que pueden hacerse corresponder con determinadas entidades empíricas, adquiriendo así significado. Los enunciados de estas ciencias son proposiciones analíticas o tautológicas. Sus métodos de justificación son lógicos.

En las ciencias fácticas el objeto de estudio es la realidad empírica, los hechos. Sus enunciados se refieren a esos hechos. El método fundamental es la confrontación con la realidad, aunque también se utilizan métodos lógicos que garantizan la consistencia de las teorías, esto es, la coherencia entre las proposiciones que conforman la teoría científica. La verdad de estas ciencias es fáctica, puesto que depende de los hechos y es provisoria, puesto que nuevas investigaciones pueden presentar elementos para su refutación.

La Física y la Química son los ejemplos más claros de cómo en las ciencias fácticas se opera con interpretaciones de las matemáticas. Esta disciplina y también la Lógica son concebidas actualmente como ciencias instrumentales, es decir, contribuyen a la formulación de teorías explicativas de la realidad con alta precisión y exactitud, al mismo tiempo que aseguran inferencias y cálculos ya probados y fundamentados formalmente.

Dentro de las ciencias fácticas se distinguen las ciencias naturales y las ciencias sociales (humanas). La distinción tiene en cuenta peculiaridades de los objetos de estudio de cada uno de estos tipos de ciencias. Las primeras se preocupan por la naturaleza; las segundas por el ámbito de lo humano. El hombre es un ser natural, pero su mundo ya no es natural. La naturaleza se desenvuelve en procesos independientes de la voluntad humana; en cambio, el mundo del hombre es construido por él mismo (Tabla 1).

Tabla 1 Características de las ciencias formales y fácticas			
	CIENCIAS FORMALES	CIENCIAS FÁCTICAS	
OBJETO DE ESTUDIO	Signos vacíos que pueden ser interpretados	La realidad empírica, los hechos	
TIPO DE ENUNCIADOS	Proposiciones analíticas o tautológicas	Hacen referencia a los hechos	
MÉTODOS	Lógicos	La verificación, la confrontación con la realidad	
TIPO DE VERDAD	Necesaria y formal	Fáctica (depende de los hechos) y provisoria	
SUBDIVISIONES		Ciencias Naturales	Ciencias Sociales, Humanas
EJEMPLOS DE CIENCIAS	Matemáticas Lógica	Física Química Biología	Historia Sociología Sicología

Las ciencias naturales son ciencias de hechos. Se caracterizan, en su mayoría, por ser experimentales. Sus enunciados refieren a la realidad empírica y se corroboran por observación y experimentación. Intentan explicar los fenómenos en los que éstos tienen de regular y constante. Para ello formulan hipótesis explicativas, las que, en caso de ser confirmadas, constituyen leyes.

Cada una de las ciencias naturales goza de casi una completa unanimidad en cuanto a:

- Los hechos que se establecen como objeto de estudio
- Explicaciones razonablemente satisfactorias de los mismos
- Procedimientos válidos que se deben utilizar en una investigación bien fundada

En cuanto a la posibilidad de realizar experimentos, el investigador puede manipular, dentro de ciertos límites, diversos aspectos (variables o factores) que se supone contribuyen a la aparición de los fenómenos estudiados. Es decir, puede disponer las condiciones de posibilidad para producir y estudiar fenómenos y las puede alterar o cambiar a voluntad. Puede establecer relaciones entre las variables que hace intervenir y las consecuencias que obtiene.

No todas las ciencias disponen del mismo grado de objetividad. Las ciencias formales, al trabajar con un lenguaje que no necesita correlato con la experiencia, disponen de condiciones óptimas de objetividad. Explicitan las verdades deducibles de los axiomas propuestos. Esto permite analizar su consistencia y su coherencia.

En las ciencias fácticas, que pretenden dar cuenta de la realidad, no basta la coherencia y consistencia. Se debe recurrir a la experiencia. A la Física, por su desarrollo y eficacia, se le considera modelo de objetividad.

Concluyendo, aunque existen diferencias de objetivos, problemas, métodos, etc. entre los distintos campos de conocimiento, sin embargo, disciplinas científicas como la Biología, Física y Química, comparten el conocimiento de conceptos fundamentales como es el caso de los relacionados con la composición y estructura de la materia.

2.3 LAS CARRERAS DE BIOLOGÍA, FÍSICA Y QUÍMICA EN LA UNAM

Para llevar a cabo este estudio comparativo se eligieron las carreras de Biología, Física y Química, tomando en cuenta que en sus planes de estudio, el tema de la estructura de la materia se presenta con variados enfoques y niveles, en diversos cursos y semestres.

2.3.1 BIOLOGÍA

La Guía de Carreras UNAM 2002 y el Plan de Estudios de la Carrera de Biología establecen que esta carrera se ubica dentro del Área de las Ciencias Biológicas y de la Salud de la UNAM. Se cursa en la Facultad de Ciencias (ocho semestres en sistema escolarizado), en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (nueve semestres) y en la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala (ocho semestres). Es considerada de alta demanda.

El Plan de Estudios de los alumnos de la muestra se estableció en la Facultad de Ciencias en 1997.

En la Guía se menciona que uno de los aspectos sobre los que descansa el marco conceptual de la Biología es el origen, la evolución y las funciones de las macromoléculas vitales; otro comprende el conocimiento de la biodiversidad desde el punto de vista molecular, celular, individual, poblacional y comunitario. Cita que se pretende enseñar los procesos de los seres vivos y no sólo su descripción

El egresado de esta licenciatura debe contar con un bagaje intelectual que incluye un espectro de conocimientos básicos, desde el nivel molecular y celular, hasta visiones integrativas para comprender los procesos de cambio de la biósfera, en el tiempo y en el espacio.

En el Mapa Curricular de la carrera se encuentran asignaturas obligatorias como Química, Biología Molecular de la Célula I, II y III, Química Orgánica y asignaturas optativas como Temas Selectos de Bioquímica, Citoquímica Molecular, Biología Molecular, Introducción a la Parasitología Molecular, Cinética y Toxicología Molecular, las cuales están ampliamente vinculadas con la estructura de la materia.

2.3.2 FÍSICA

Esta carrera se ubica dentro del Área de las Ciencias Físico Matemáticas y las Ingenierías de la UNAM. Se cursa en la Facultad de Ciencias, su duración es de nueve semestres en Sistema Escolarizado, con demanda media de ingreso.

El Plan de Estudios que corresponde a los alumnos de la muestra data de 1967.

Esta licenciatura prepara al profesionista responsable de estudiar los atributos de la materia y de la energía, realizando experimentos que muestren o midan sus propiedades y representen los cambios que surgen como resultado de las interacciones de sistemas materiales, mediante modelos matemáticos o simulaciones numéricas en computadora, basados en un conjunto mínimo de principios y leyes.

Dentro de su Mapa Curricular existen asignaturas obligatorias estrechamente relacionadas con la estructura de la materia, tales como: Física Moderna I, Física Clásica IV (Electricidad), Física Moderna II, Física Teórica II (Termodinámica), Física Teórica IV (Introducción a la Mecánica Cuántica), Laboratorio I, Física Moderna III y Laboratorio II, así como asignaturas optativas, como Introducción a la Física de Partículas Elementales, Biofísica Molecular, Física Atómica y Molecular, Química General y Química Cuántica, Introducción a la Física Nuclear, Introducción al Estado Sólido, Introducción a la Física de Materiales.

2.3.3 QUÍMICA

Esta carrera también forma parte del Área de las Ciencias Biológicas y de la Salud de la UNAM. Se cursa en la Facultad de Química y en la Facultad de Estudios Superiores – Cuautitlán (nueve semestres en sistema escolarizado). Es considerada de demanda media.

El Plan de Estudios de los alumnos de la muestra de la Facultad de Química se remonta a 1987.

En esta carrera se forman profesionistas capaces de transformar los recursos naturales en innumerables productos útiles como alimentos, medicamentos, ropa y energéticos. Dentro de las actividades que desempeñan están: Identificar los productos puros o como constituyentes de mezclas, en forma cualitativa y/o en forma cuantitativa; aplicar normas de calidad para diferentes productos; purificar productos a partir de recursos naturales, o provenientes de procesos sintéticos; realizar el control analítico de materias primas, productos intermedios y terminados; y sintetizar productos a partir de materias primas sencillas, o por degradación de moléculas complejas. Para ello utilizan técnicas como análisis, síntesis y simulación de procesos.

En su Mapa Curricular están asignaturas obligatorias como Química General, Estructura de la Materia, Química Analítica I, II y III, Química Inorgánica, Introducción a la Química Orgánica, Propiedades Fisicoquímicas, Química del Estado Sólido, Compuestos con Carbono, Hidrógeno y Halógenos, Química Inorgánica Covalente, Unión Química y Fundamentos Espectroscópicos, Bioquímica Celular. Dentro de las materias optativas se pueden mencionar: Desarrollo y Optimización de Procesos de Síntesis I y II, Laboratorio de Control y Desarrollo Analítico. Todas relacionadas con la estructura de la materia.

CAPÍTULO III. IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA

Existen conceptos que sirven de base para entender y asimilar otros, tal es el caso de la composición y estructura de la materia para comprender una gran diversidad de fenómenos y procesos biológicos, físicos y químicos, tales como fotosíntesis y respiración; ciclo de nutrientes en ecosistemas; metabolismo; fusión y fisión nuclear; radiactividad; disolución; estados de la materia y cambios de estado; efecto de la presión, volumen y temperatura sobre los gases; reacciones químicas y enlace químico (Nakhleh, 1992; Mondelo y otros, 1994; Hogan y Fisherkeller, 1996).

A su vez, para comprender la composición y estructura de la materia es necesario entender conceptos clave como átomo y molécula.

Así, la teoría cinético molecular, la cual establece que toda la materia está compuesta por minúsculas partículas llamadas moléculas, que están en constante movimiento, provee una base para entender tanto eventos invisibles, sostén de diversos fenómenos naturales, como para explicar aspectos observables de esos fenómenos.

Ejemplificando lo anterior, podemos mencionar que la enseñanza y el aprendizaje de la Biología no encierran graves problemas cuando se circunscriben a niveles meramente descriptivos de la realidad macroscópica; sin embargo, cuando se abordan aspectos básicos como funciones vitales (nutrición y respiración, por ejemplo) o estructura y funciones celulares (fisiología celular), se presentan serias dificultades. Los conocimientos fundamentales de procesos fisiológicos requieren un adecuado nivel de abstracción, porque el alumno ha de pasar de una visión macroscópica “organismo vivo como unidad” a una visión microscópica “célula–unidad funcional del ser vivo”, en la que tienen lugar una serie de reacciones bioquímicas, que involucran el conocimiento de la composición y estructura de la materia, así como su naturaleza corpuscular.

Además, para comprender tales procesos el alumno requiere básicamente asumir que la composición atómica es universal, interesando indistintamente a la materia que constituye a los seres vivos y a los cuerpos y objetos inertes.

Con el propósito de hacer énfasis en la importancia que representa el adecuado conocimiento de la estructura de la materia, principalmente a nivel atómico/molecular, a continuación se presentan diversos temas que forman parte de los programas de estudio de diversas asignaturas que cursan los estudiantes de las carreras de Biología, Física y Química de la UNAM, y en los cuales es obvia su relación con el conocimiento de la estructura de la materia.

Falta página

N° 54

3. IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LA COMPOSICIÓN Y LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

3.1 EN FENÓMENOS Y PROCESOS BIOLÓGICOS

- Bases moleculares del metabolismo asociadas a la patología pulmonar
- Bases moleculares y bioquímicas de la diabetes
- Estudio bioquímico y molecular de las enzimas pirfosfatasa citoplasmáticas de bacterias fotosintéticas
- Estudio molecular de la regularización y funcionalidad de las isoformas del receptor a progesterona en el cerebro de la rata
- Antropología molecular
- Estudio biológico y molecular de los parásitos de importancia médica
- La biología a partir de las biomoléculas; nuevos paradigmas y aplicaciones
- Estructura, fisiología y fitoquímica de plantas medicinales con potencial farmacológico
- Evaluación de contaminantes ambientales en sitios de alto riesgo
- Modelos experimentales de biología molecular bacteriana
- Uso de marcadores moleculares (RNAr, ADN, etc.)
- Evolución temprana de los metabolitos bacterianos y fraccionamiento isotópico
- Ciclos biogeoquímicos
- La teoría atómica de la radiación. Efectos biológicos de la radiación y protección radiológica
- Las bases químicas de las disoluciones y su importancia en los sistemas biológicos
- Solubilidad, consumo y producción de gases en los sistemas biológicos
- Importancia de los ácidos y bases en fenómenos biológicos
- Importancia de las diversas macromoléculas presentes en los seres vivos
- Características de los grupos funcionales y reactividad de los compuestos orgánicos presentes en los seres vivos
- Teoría sobre el origen monofilético de los Animalia, basada en evidencias moleculares, celulares y mitocondriales
- Estructura de los ácidos nucleicos y la organización de las secuencias génicas en procariontes y eucariontes
- Biosíntesis de ADN, ARN, proteínas y la función del código genético
- Composición molecular de las diferentes estructuras celulares, para el establecimiento de un mapa molecular *in situ*
- Vinculación entre la evolución molecular y la genética de las poblaciones
- Mecanismos moleculares involucrados en la producción de mutaciones

IMPORTANCIA DE LA COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA

3.3 EN FENÓMENOS Y PROCESOS QUÍMICOS

- Los cambios físicos y químicos que sufre la materia
- Interacciones de origen electrostático tanto a nivel microscópico como a nivel atómico
- Razones microscópicas del comportamiento macroscópico de la materia en la naturaleza
- Comprensión y predicción de reacciones químicas
- Equilibrios de intercambio de una partícula en medios homogéneos
- Cálculo de la composición de mezclas simples a partir de resultados teóricos o experimentales
- Métodos para caracterización de compuestos orgánicos
- Propiedades y características de la materia, para el desarrollo de procesos de su transformación con fines tecnológicos
- Características de los fenómenos ondulatorios que pueden inducirse en medios continuos (fluidos y sólidos)
- Potenciales químicos de gases ideales y reales tanto en estado puro como de mezcla
- Semiconducción y catálisis heterogénea en el estado sólido, de interés industrial
- Composición química y estructura cristalina de materiales cerámicos
- Diagramas de fase de sustancias puras y multicomponentes
- Manifestación química y física de los elementos
- Magnitudes de energías y longitudes de enlaces en compuestos
- Comportamiento de grupos funcionales frente a diferentes reactivos químicos
- Técnicas instrumentales de mayor uso en la caracterización y cuantificación de compuestos orgánicos
- Importancia de la Bioquímica para explicar química y físicamente los fenómenos relacionados con los seres vivos
- Biosíntesis de ADN, ARN, proteínas y la función del código genético.
- Función de las hormonas como biomoléculas y su papel sobre el metabolismo celular
- Manejo y control de los microorganismos para la producción de sustancias de interés industrial.

3.2 EN FENÓMENOS Y PROCESOS FÍSICOS

- Constitución química y propiedades de los materiales que componen la Tierra
- Decaimiento radiactivo y fechamiento de fósiles
- Las partículas elementales y la cosmología
- Estructura atómica y su aplicación en el espectro estelar y los modelos de atmósfera
- Composición química de la cromósfera y corona solar
- Formación y destrucción de las moléculas en nubes densas
- Composición y evolución química de galaxias barradas e irregulares
- Base química y el origen de la vida en el Sistema Solar
- Estructura celular e interacciones moleculares
- Técnicas para el estudio de biomoléculas: Sedimentación, ultracentrifugación, viscosidad, electroforesis, etc
- Procesos metabólicos, bioenergéticos y homeostasis
- Composición del aire y propiedades de los gases atmosféricos
- Origen, detección y prevención de fallas y deterioro de materiales para ingeniería, por corrosión, oxidación, etc
- Elementos de seguridad nuclear (dosificación y protección radiológica)
- Dosimetría en radiodiagnóstico, radioterapia, esterilización, etc
- Emisión y absorción de la radiación. Manejo de radioisótopos
- Materiales radiactivos, radiactividad, su evaluación y sus efectos en el ser humano
- Diagramas de fase en cristales, líquidos, superconductores, etc.
- Medición de la resistividad eléctrica de diversos materiales
- Descargas eléctricas, balística de partículas cargadas en campos eléctricos y magnéticos
- Energía nuclear. Reacciones nucleares, fusión y fisión
- Mediciones de la potencia de salida vs. la corriente de descarga en láser He-Ne
- Fenómenos eléctricos y magnéticos en el vacío y en medios materiales
- Fenomenología del comportamiento termodinámico de las sustancias
- Fenomenología de las transiciones de fase para sustancias puras
- Métodos espectroscópicos: fotoeléctricos y emisión y absorción de rayos X
- Enlace químico en sólidos iónicos y covalentes y en metales
- Aceleradores y detectores de partículas
- Resonancia magnética nuclear y sus aplicaciones en el campo de la medicina
- Procesos fotoquímicos en la radiación solar terrestre
- Estructura y propiedades de los sólidos
- Enlaces cristalinos (la interacción de Van der Waals y los enlaces iónico, covalente y metálico)
- Técnicas experimentales y teóricas para el estudio de átomos y moléculas (resonancia magnética nuclear y espectroscopia de radiofrecuencias)
- Relación entre microestructura, propiedades y procesamiento de materiales.

Falta página

N° 56

3.4 PROBLEMAS CONCEPTUALES REFERENTES A LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA HALLADOS EN LA BIBLIOGRAFÍA

El análisis de las preconcepciones de los alumnos es actualmente uno de los más importantes problemas en el campo de la educación en ciencias. La mayoría de los estudios que se han elaborado sobre las preconcepciones con relación a la estructura de la materia son relativamente recientes, a partir de las investigaciones de Novick y Nussbaum (1978).

Una amplia revisión bibliográfica confirma que las ideas previas de los alumnos frecuentemente no evolucionan a lo largo de los distintos niveles de enseñanza. En los alumnos se han detectado errores conceptuales de considerable importancia relativos a aspectos básicos de la estructura de la materia, siendo frecuentemente los maestros y los libros de texto, agentes de su propagación y persistencia (Barroso y otros, 1993; Alvarado, 2000).

Para la mayoría de los estudiantes aprender conceptos relacionados con el tema mencionado significa memorizar definiciones, fórmulas y nombres de sustancias, formas de orbitales, etc., y no objetan hacerlo porque eso han hecho desde la escuela elemental. Los estudiantes perciben la estructura de la materia como un tema muy abstracto, muy difícil y no relacionado con la vida cotidiana. Para ellos, el tema 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 clase usualmente se les da poco tiempo para discutir sus ideas; ellos crean explicaciones que intelectualmente los satisfacen, pero que no corresponden con las científicas.

Los estudiantes consideran frecuentemente que las asignaturas científicas son las más difíciles de todas las que cursaron en secundaria y bachillerato. Una causa de lo anterior es que a los estudiantes, por ejemplo, se les dificulta la conexión entre el mundo macroscópico que observan y el mundo nanoscópico de los átomos y moléculas que se requiere para dar diversas explicaciones en el campo de la ciencia (Gillespie, 1997; Haidar y Abraham, 1991; Krnel y otros, 1998).

Diversos investigadores en educación en ciencias establecen que entre los principales impedimentos en el aprendizaje de la estructura de la materia, destacan la insuficiente comprensión de los conceptos abstractos involucrados, la memorización excesiva y la incapacidad para transferir comprensión entre los niveles macroscópicos y atómico/molecular (Staver y Lumpe, 1993).

Cuando se dice que un estudiante ha aprendido un tema, generalmente se asume que el estudiante ha adquirido una comprensión de los conceptos involucrados y las relaciones entre ellos. Sin embargo, hay evidencia que muestra que el aprendizaje de la estructura de la materia por los estudiantes carece de esas características y usualmente falla en tareas de aplicación de esos conceptos.

Tsaparlis (1997) examinó el concepto de estructura atómica y molecular de la materia desde cuatro diferentes perspectivas de la educación en ciencias:

1) Perspectiva Piagetiana del Desarrollo

La teoría piagetiana reconoce cuatro etapas del desarrollo cognitivo humano:

- La etapa senso-motora (del nacimiento hasta los 2 años)
- La etapa preoperacional (de 2 a 7 años)
- La etapa de operaciones concretas (de 7 a 11 años)
- La etapa de operaciones formales (de 11 a 15 años)

Sólo las dos últimas etapas tienen importancia para la enseñanza de las ciencias. De acuerdo a Piaget: ...“las operaciones concretas están directamente relacionadas a los objetos, y aún no a hipótesis establecidas verbalmente, ...mientras que una persona que ha entrado a la etapa de pensamiento formal... es un individuo que piensa y forma teorías acerca de todo”.

Conceptos que tienen ejemplos y atributos perceptibles, tales como sólidos y líquidos, pueden ser considerados como conceptos concretos. Conceptos tales como elemento y compuesto tienen ejemplos perceptibles, pero atributos imperceptibles, mientras que átomos y moléculas tienen ejemplos y atributos que son imperceptibles. Conceptos que tienen ejemplos imperceptibles, atributos imperceptibles, o ambos, pueden ser considerados como conceptos formales, que no pueden ser aprendidos a través de la experiencia directa, concreta; es obvio que no pueden ser aprendidos completamente sin cierto razonamiento operacional formal.

2) La Teoría de Ausubel del Aprendizaje Significativo

Esta teoría se enfoca a la influencia del conocimiento previo y en como ocurre el aprendizaje tomando en cuenta que la enseñanza debe impartirse de acuerdo con lo que los estudiantes realmente conocen. Ausubel postula que el aprendizaje significativo ocurre cuando el conocimiento existente apropiado de los alumnos interacciona con el nuevo aprendizaje. Por el contrario, si tal interacción no ocurre, el resultado es el aprendizaje memorístico. La interacción se efectúa por medio de los así llamados “subsumidores”, que son, cualquier concepto, principio o idea generalizada que el estudiante realmente conoce y el cual provee asociación o reserva para los componentes del nuevo conocimiento. Los subsumidores (conceptos fundamentales) para el conocimiento de la estructura de la materia, desgraciadamente no preexisten en la mayoría de los estudiantes, aún universitarios.

Por lo tanto, desde la teoría de Ausubel es difícil para los estudiantes aprender significativamente lo intrincado de la estructura atómica y molecular. El aprendizaje memorístico es entonces la única alternativa posible para ello, considerando que hay un continuo en el aprendizaje significativo, y que el conocimiento memorístico es el extremo más bajo de ese continuo.

3) La Teoría del Procesamiento de la Información

De acuerdo a este modelo de aprendizaje, la percepción (un sistema de selección de información) es manejada por nuestra memoria a largo plazo que hace que reconozcamos lo familiar y no familiar. Esta información pasa a un espacio de trabajo consciente, donde es procesada y preparada para su almacenamiento. El espacio de trabajo es de capacidad limitada y sólo puede procesar unas pocas piezas de información a la vez.

La forma en que la estructura de la materia se enseña entra en conflicto con tal modelo de aprendizaje, porque involucra tres niveles principales: el macro, el micro y el representacional. El nivel macro representa lo tangible, lo visible y lo usable. El nivel micro es el nivel molecular, el estructural y el del enlace. El nivel representacional trata con símbolos, ecuaciones y cálculos. La

mayoría de las personas piensan sólo en el nivel macro, pero el maestro está pensando simultáneamente en los tres niveles. Por ejemplo, considerando el concepto de elemento, se dice que los elementos consisten de átomos de la misma clase (lo cual no apela a los sentidos, nivel macro); se involucran los conceptos micro de átomo y molécula, representándolos mediante símbolos y fórmulas, incluso ecuaciones cuando interactúan químicamente.

4) El movimiento de las Concepciones Alternativas

Numerosos estudios han mostrado que los estudiantes inician sus estudios de ciencias con problemas conceptuales fuertemente retenidos acerca de algunos fenómenos, y en general, concepciones que difieren significativamente de aquellas reconocidas por la comunidad científica. Esto es sumamente importante en conceptos fundamentales relacionados con la estructura de la materia, pues numerosos estudiantes universitarios y aún profesores, forman sus propios modelos para átomos y moléculas y así, por ejemplo, creen que las moléculas poseen las propiedades de las sustancias, tales como temperatura, estado físico, dureza, etc.

A continuación se presentan algunos de los principales problemas conceptuales detectados en estudiantes de bachillerato y universitarios, en aspirantes a profesor y en profesores y autores de libros de texto científicos, relacionados con la estructura de la materia, que se identificaron durante la revisión de diversos documentos consultados. Es importante mencionar que, al efectuar la revisión bibliográfica, se detectó que la gran mayoría de las investigaciones acerca de preconcepciones de los alumnos relacionadas con la estructura de la materia, involucran a estudiantes de 12 a 18 años (correspondiendo a los niveles de secundaria y bachillerato en México), siendo bastante escasos los de nivel universitario y de profesores.

3.4.1 A NIVEL BACHILLERATO

La 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 escolar, desde el nivel elemental hasta el medio superior. Sin embargo, numerosos estudiantes no comprenden el concepto 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. Lee y otros (1993) citan que muchos piensan, por ejemplo, que los gases no tienen peso; que creen que formas de energía, como el calor, son materia porque ocupan un espacio, así llegan a nombrar “moléculas de calor”; y que numerosos 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.

Kind (2004) menciona que muchos estudiantes de 15 años de edad y mayores usan el razonamiento sensorial acerca de la materia, a pesar de tener un pensamiento lógico avanzado en otras áreas, como matemáticas y que es pobre su diferenciación entre elementos, compuestos y mezclas en términos de partículas, la cual es la base para la comprensión de las reacciones químicas.

Barker (1995; en Kind, 2004) en un estudio en el Reino Unido con alumnos de 16 a 18 años, detectó que algunos estudiantes confundían “elemento” con características o reacciones químicas.

Ahtee y Varjola (1998; en Kind, 2004) comentan que los estudiantes de todas las edades encuentran problemático el término “sustancia” pues algunos lo intercambian con el de “átomo”, así mencionan, por ejemplo: “Los elementos intercambian los electrones entre ellos...” (jóvenes de 17 y 18 años).

En la base de datos Ideas Previas, desarrollada entre 2000 y 2002 (ver referencias), se pueden consultar diversos problemas conceptuales de los alumnos de este nivel educativo. En las Consideraciones relacionadas con las temáticas de esta investigación se presenta:

“En este nivel hay alumnos que aún mantienen concepciones que se han mencionado entre los estudiantes de primaria y secundaria, una de ellas se refiere al reconocimiento de la materia, considerándola principalmente en estado sólido; otra tiene relación con los argumentos que expresan los alumnos acerca de que la materia sólida es continua, considerando que las moléculas se tocan continuamente por lo que no dejan espacio libre entre ellas, o bien, y peor aún, por la existencia de aire, gases e incluso cargas eléctricas entre sus átomos”.

“Aunque los mismos alumnos u otros (la mayoría), indiquen que la materia está constituida de partículas (átomos y moléculas), es preocupante que todavía en este nivel se crea que un objeto está constituido por piezas más pequeñas similares al objeto, así un cristal de cloruro de sodio estaría constituido por cristales pequeñísimos de sal. Aún se asignan a átomos y moléculas las características y propiedades de las sustancias así, por ejemplo, se menciona que a temperatura ambiente la molécula de cloro está en estado gaseoso”.

“A los átomos y moléculas usualmente se les asigna forma redondeada o esférica, sin embargo, en el caso de sustancias líquidas se considera que son planos. Llama la atención que estudiantes de este nivel piensen que las moléculas de un determinado compuesto en un mismo estado de agregación puedan tener diferente forma, tamaño y peso. En algunos alumnos, persiste la concepción errónea con respecto a la pequeñez relativa de los átomos, al expresar que pueden observarse con un microscopio simple, o peor aún, que un átomo es más grande que un germen; otros consideran que todos los átomos tienen el mismo tamaño”.

“Hay alumnos que mencionan que los átomos están vivos porque se mueven”.

“También se detecta la deficiente comprensión acerca de los compuestos cuando se menciona que las moléculas de un mismo compuesto contienen diferente número de átomos y otros componentes, además de sus elementos constitutivos. Así, opinan que las moléculas de agua contienen otros componentes como aire, cloro y minerales, además de oxígeno e hidrógeno”.

“El calor, las colisiones y el número de protones son citados como algunos de los factores que determinan el tamaño de los átomos, y la temperatura, la presión, la forma del recipiente y el estado de agregación como algunos de los que determinan la forma, el tamaño y el peso de las moléculas”.

“Los estudiantes tienen concepciones del enlace químico como el resultado de interacciones de las sustancias en el nivel macroscópico, es decir, los estudiantes tienen la idea del enlace en el mismo sentido en el que se maneja este concepto cotidianamente (algo que pega, que une, que atrae), o bien, que el enlace ocurre por algunas propiedades de las sustancias (estado de agregación, forma, etc.)”.

“Por otro lado, se detectaron dos marcos de trabajo explicativos sobre la ocurrencia del enlace, el primero de ellos se refiere a los criterios de estabilidad para lograr el enlace. Los estudiantes usan comúnmente la regla del octeto (una regla heurística que permite identificar especies químicas estables) como la base para explicar el enlace químico. Desde esta perspectiva, el enlace ocurre con el fin de tratar de obtener una estructura estable (por ejemplo, ocho electrones en la capa externa del átomo). La aplicación de la regla del octeto tiene un principio antropomórfico que resulta atractivo. Aseveraciones como las siguientes: “los átomos quieren estar estables”, “los átomos quieren tener ocho electrones”, ejemplifican el poder de explicación que tiene esta regla desde el punto de vista de los estudiantes”.

“El otro marco explicativo se refiere a las cargas en los átomos. Desde el punto de vista de las cargas eléctricas, tiene sentido que partículas con carga opuesta se atraigan, sin embargo, los estudiantes se refieren con el término partículas cargadas, no a los electrones y protones en el átomo, sino a todo éste, es decir, “el sodio tiene carga positiva y se une al cloro que tiene carga negativa”, porque, en general, los estudiantes se refieren a la neutralización de cargas como lo que hace que ocurra un enlace; podemos pensar, por lo tanto, que la neutralización de cargas implica estabilidad. Del mismo modo, esto puede ayudarnos a explicar por qué solamente se consideran como enlaces aquéllos que son iónicos o covalentes, así, dado que no hay neutralización de cargas, o no se comparten electrones, un enlace metálico no se considera un enlace, sino una fuerza entre los átomos”.

“En el caso del enlace iónico, los estudiantes tienden a considerar que existen moléculas en las sustancias iónicas, incluso si éstas se encuentran organizadas en una red de iones. Cuando se menciona que un átomo sólo puede formar tantos enlaces como electrones de valencia tiene, esto implica unión de pares de átomos, que de alguna forma permanecerán diferenciados dentro de la red iónica. Incluso, cuando los estudiantes representan mediante dibujos una sustancia iónica, muchas veces lo hacen sólo representando un par de iones (o átomos) unidos, o bien, pequeños grupos de iones (átomos) unidos y atraídos hacia otros átomos o iones”.

“En el caso de la formación de iones, se hace uso excesivo de la regla del octeto para explicar por qué se forman los iones de la forma en que lo hacen, ya que el uso de esta regla implica estabilidad por configuración de gas noble. Además, se hace mucho énfasis en el proceso de formación de los iones, facilitando que se confunda éste con el enlace iónico, ya que el proceso de transferencia de electrones implica una relación especial entre los dos iones que se involucran”.

Griffiths y Preston (1992) también detectaron en un estudio otros problemas conceptuales importantes en estudiantes canadienses de este nivel educativo, tales como: Las moléculas de agua pueden variar considerablemente de tamaño, de forma y de peso, al cambiar de fase. Las moléculas de agua están compuestas de dos o más esferas sólidas y no todas están compuestas de los mismos átomos, sino que pueden contener otros componentes y estar formadas por más de tres átomos. Existe materia entre átomos de un elemento puro. Las formas macroscópicas reflejan formas moleculares. Los protones tienen una masa de un gramo. El tamaño del átomo está determinado principalmente por el número de protones. Los electrones no tienen masa, son una carga.

Muchos estudiantes creen que las moléculas están en las sustancias, más que las sustancias consisten de moléculas, átomos o iones (Lee y otros, 1993).

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 y Abraham, 1991).

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 los 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.). También cita que la existencia de iones es sólo contemplada por una minoría (33%) de los estudiantes cuando se refieren a las unidades que forman los cristales de NaCl.

Gabel y Samuel (1987) mencionan 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 H_2 entre:



Osborne y Cosgrove (1983; en Gabel, 1989) 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.

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 (citado en Krnel y otros, 1998).

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

Barker (1994; en Kind, 2004) sugiere que los estudiantes de Química de 16 y 17 años de edad no pueden describir con acierto el enlace iónico.

Butts y Smith (1987; en Kind, 2004) informan que estudiantes australianos de 16 y 17 años de edad no se daban cuenta de que el enlace iónico es tridimensional; algunos consideraban que el cloruro de sodio era molecular y sugerían que había enlaces covalentes entre el cloro y el sodio, pero que se necesitaban enlaces iónicos entre las moléculas para crear la estructura completa.

Barker (1994; en Kind, 2004) menciona que sólo alrededor del 18% de los estudiantes de 16 años que participaron en un estudio, podían distinguir entre enlaces covalentes sencillos y dobles en las moléculas de metano, eteno y agua, en términos del número de electrones participantes; un 25% adicional los distinguía pero sin especificar el número de electrones participantes y un 7% creía que los enlaces tenían uno o dos electrones.

Taber (1997a; en Kind, 2004)) luego de llevar a cabo un estudio de casos acerca de la comprensión del enlace químico en estudiantes de Química de bachillerato, estableció un modelo sobre sus ideas indicando que éstas se desarrollan desde el “marco de la regla del octeto hasta un principio de explicación, del mínimo en la energía”, en el cual utilizan ideas basadas en la teoría cuántica centrada en el uso de orbitales atómicos.

Entre estudiantes de 17 años de edad de un curso de Química avanzado, Peterson y Treagust (1989; en Kind, 2004) encontraron que el 23% pensaba que los electrones eran compartidos por igual en todos los compuestos covalentes; alrededor de la cuarta parte atribuía la forma de las moléculas a la repulsión entre los pares de electrones del enlace, o a la polaridad del enlace. Sólo alrededor del 60% sabía la posición correcta de los electrones en un enlace entre el hidrógeno y el flúor. También detectaron confusión en las diferentes localizaciones de los enlaces inter e intramoleculares. Alrededor del 23% de los estudiantes pensaba que los enlaces intermoleculares estaban en el interior de la molécula covalente. También malinterpretaban la fuerza relativa de los enlaces inter e intramoleculares. En la misma pregunta hecha a estudiantes del primer año de Química en la universidad, Peterson y Treagust (1993; en Kind, 2004) obtuvieron 55% de respuestas correctas.

3.4.2 A NIVEL UNIVERSIDAD Y DE ASPIRANTES A PROFESOR

Aunque los estudiantes generalmente son introducidos al modelo corpuscular de la materia en la secundaria y posteriormente en el bachillerato, aún los alumnos universitarios muestran incomprensión 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. Novick y Nussbaum (1978, 1981) lo detectaron en estudiantes universitarios de Química de Israel, quienes al negar la existencia de espacio entre partículas, lo “llenaban” con polvo, gérmenes y aire. Sanz, Gómez Crespo y Pozo (1993) reportan el mismo hallazgo, expresando que en España el uso espontáneo del modelo corpuscular, incluso entre los 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. Un estudio de Benson y otros (1993; citado en Noh y Scharmann, 1997) reveló que el punto de vista corpuscular de la materia varió de 8% (grados 2 – 4) a 85% en la universidad. Nakhleh (1992), Barroso y otros (1993) y Mortimer (1998) también hicieron hallazgos similares. Esta visión de la materia como un medio continuo, estático y sin huecos, por parte 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 y operacional formal.

Estudiantes españoles del 3° grado de la Escuela Universitaria de Formación de Profesores (Mondelo y otros, 1994) admitieron con relativa facilidad (90%) que los sólidos están formados por materia; sin embargo, esta creencia fue menor en el caso de líquidos (61%) y de gases (41%), 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,...). En cambio, la materialidad de un gas no resulta evidente, pues es frecuente que su masa, peso y volumen ni siquiera se consideren, así con cierta frecuencia los alumnos mencionan: “no hay nada, sólo aire”. También se detectó que estos estudiantes tienen dificultades para comprender la presencia de un mismo elemento químico en la materia inerte y en los seres vivos: el porcentaje de sujetos que contestaron correctamente no superó el 44%.

Con respecto a la estructura de la materia, el término “partícula” es comúnmente empleado por estudiantes incluso universitarios y por sus profesores; sin embargo, con suma frecuencia lo utilizan en forma ambigua, no siendo claro si se refieren a unidades macroscópicas o microscópicas (Cros y otros, 1988; Abraham y otros, 1992); en ocasiones se usa en lugar de átomos o moléculas. Krnel y otros (1998) indican 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. Para algunos estudiantes el mundo microscópico es como el macroscópico pero de tamaño reducido. Aunque esta creencia disminuye con el nivel de instrucción, no llega a desaparecer del todo, incluso en estudiantes de universidad, así las partículas se expanden, funden, incluso tienen color (Ben-Zvi y otros, 1986; Haidar y Abraham, 1991; Mortimer, 1998).

En un estudio francés (Cros y otros, 1988) con 400 alumnos luego de un año de haber ingresado a la universidad, se detectó que conocían bien los constituyentes del átomo y del núcleo (97% y 95% respectivamente), pero desconocían las interacciones entre ellos (38%) o las conocían pobremente (18%): algunos mencionaron covalencia (25%), compartición electrónica (8%) y enlace iónico (1%). Con respecto al átomo, ellos trabajaban con el modelo de Bohr (mostrando el sistema planetario) y con el modelo de los orbitales; esto también lo concluyeron Mondelo (1994) y Zoller (1990); este último autor expresó que la mayoría de las explicaciones de fenomenología y leyes químicas las basaban los alumnos en el modelo de Bohr y que el 57 % de los estudiantes no entendían bien el papel del núcleo en el átomo.

Entre 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 y otros, 1994):

Tabla 2 Porcentaje de estudiantes, por grado, que usan los términos átomo, ión y molécula en sus explicaciones (Abraham y otros, 1994)			
CONCEPTO	SECUNDARIA	BACHILLERATO	UNIVERSIDAD
Cambio químico	-----	-----	-----
Disolución de un sólido	13%	30%	46%
Conservación de átomos	16%	43%	57%
Periodicidad	0%	6%	6%
Energía en cambios de fase	2%	5%	6%

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.

Marín y Benarroch (1994) indican que más del 50% de los estudiantes no respetan la conservación del número de partículas en dibujos usados para representar diversos procesos físicos y químicos.

En un estudio (Haidar, 1997) con aspirantes a profesor de Química de Yemen, sólo el 11.56% de ellos mostró una sólida comprensión de la masa atómica. Esto significa que la mayoría de los individuos no adquieren aprendizaje significativo acerca de la masa atómica; ellos memorizan sin internarse en la estructura de su conocimiento, lo cual es común cuando los estudiantes no comprenden algo.

Barroso y otros (1993) 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 pequeñas... 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...”.

En ocasiones los profesores provocan confusión en los alumnos pues, por ejemplo, cuando expresan que el agua consiste de hidrógeno y oxígeno, están 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. Es incorrecto decir que el agua consiste de hidrógeno y oxígeno, el agua es agua y no otra cosa, con sus propias propiedades, no con las del hidrógeno y del oxígeno juntas (Andersson, 1990). Lo anterior es corroborado por algunas de las explicaciones que estudiantes dan a fenómenos comunes, tales como que “cuando el agua hierve, las burbujas que se ven en el líquido son aire o una mezcla de hidrógeno y oxígeno”. Bodner (citado en Gabel, 1993) observó como estas explicaciones no científicas persistían en algunos estudiantes después de su graduación en Química y aún entre estudiantes graduados entrando al programa doctoral en la Universidad de Purdue.

Que varios elementos son un compuesto y varios compuestos son una mezcla es un preconcepto detectado por Martín del Pozo (2001) entre aspirantes a maestros de educación primaria en España, y que ya Lawson y Weser (1990) habían reportado. Entre otras preconcepciones también mencionadas por Martín del Pozo se encuentran: “Los elementos están constituidos por moléculas iguales, y los compuestos por moléculas diferentes”, así como “Los compuestos están constituidos de elementos que están unidos por enlaces químicos”. “Las moléculas están constituidas por átomos iguales” y “Las moléculas están constituidas por átomos diferentes”.

Aunque en numerosos estudiantes universitarios ya existe la plena aceptación de la universalidad de la constitución atómica de la materia, tanto en los seres vivos como en la materia inanimada, Mondelo 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. Se reconoce más la existencia de átomos en los cuerpos y sustancias inertes que en los seres vivos y dentro de éstos, más en los vegetales que en los animales, subyaciendo la idea de que los vegetales son “menos vivos” que los animales.

Mondelo y otros (1998) en una investigación en España con 226 estudiantes universitarios (42 de Biología y 184 de distintas especialidades del Magisterio) para conocer qué criterios utilizaban para diferenciar un ser vivo de la materia inerte, encontró que los estudiantes al responder se apoyaron fundamentalmente en características fisiológicas (como si respiran, se mueven, se reproducen), más que en criterios estructurales como su composición química, es decir, si tienen moléculas orgánicas como ácidos nucleicos, lípidos y proteínas): Menos del 12% de los alumnos hicieron alusión a la composición química específica de los seres vivos (proteínas, ácidos nucleicos,...). Estos autores mencionan que Brumby (1982) al analizar a estudiantes españoles universitarios de Biología sobre el concepto de vida, indica que si bien los alumnos se basan en la presencia de células y en la composición química orgánica para diferenciar al ser vivo de la materia inerte, apenas mencionan moléculas concretas como el ADN.

Treagust (1988), entre 325 estudiantes australianos de bachillerato y de primer año de Química de nivel universitario, 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 vincularon erróneamente con la intensidad de los enlaces intramoleculares al señalar, por ejemplo, que “existe relación entre la fuerza de los enlaces intramoleculares y el punto de fusión/punto de ebullición de una sustancia”. La principal preconcepción de los alumnos se refiere a que “las fuerzas intermoleculares son las fuerzas dentro de la molécula”. Otro concepto frecuente: “los enlaces covalentes se rompen cuando una sustancia cambia de estado”, refleja que los estudiantes no entienden la naturaleza de las fuerzas intermoleculares.

Taber y Watts (1996) citan frecuentes referencias antropomórficas y animistas entre universitarios, relacionadas con el enlace químico: “Un átomo de sodio le presta al cloro uno de sus electrones”; “Los átomos de carbono y nitrógeno quieren llenarse, les gustan los electrones en cada uno de sus orbitales, para llegar a ser como estables, mientras que el neón ya logró lo que necesitaba”; “Lo que un átomo está tratando de hacer es llegar a ser estable... en el caso de los metales es más fácil para ellos alcanzar la estabilidad mediante la pérdida de electrones”.

Alumnos de nivel bachillerato y universitario de Estados Unidos (Smith y Metz, 1996), asocian los coeficientes únicamente con el primer átomo en una fórmula química, así 2NaCl les indica dos átomos de sodio unidos a uno solo de cloro; además, para ellos BaCl_2 indica que el cloro es diatómico. Así, existe inadecuada interpretación de coeficientes y subíndices en las fórmulas, incluso, Abraham y otros (1994) detectaron confusión sobre qué significaba el término diatómico: ¿dos elementos o dos átomos?.

En la mencionada base de datos Ideas Previas se pueden consultar otros problemas conceptuales relacionados con el tema de esta investigación.

3.4.3 A NIVEL DE PROFESORES DE CIENCIAS Y DE AUTORES DE LIBROS DE TEXTO CIENTÍFICOS

Las concepciones reportadas corresponden principalmente a las de profesores y libros de texto de primaria y secundaria. En muchos de ellos se detecta un elevado grado de ambigüedad en cuanto al empleo de términos como sustancia y material. Así, con relativa facilidad, se identifican como sustancias a los elementos y a los compuestos, pero en ocasiones también a las mezclas homogéneas y a los materiales, e incluso a los átomos.

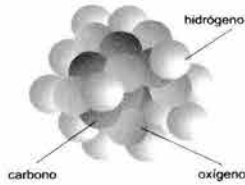
Maestros de la escuela elemental de Australia poseen diversas preconcepciones (Schibeci y Hickey, 2000) relacionadas con el concepto de material, así, consideraron que los materiales pueden ser sólidos y líquidos, sin embargo, a los gases a veces no los consideraron como tales, pues para algunos individuos los materiales se caracterizan por poderse percibir mediante los sentidos, lo cual motivó que a los gases se les excluyera por no poderse ver. Ellos también expresaron que: Los materiales son cosas usadas para hacer cosas, materias primas usadas con un propósito. Un material es una sustancia que contiene químicos o moléculas. Material, materia, sustancia y químico, son términos científicamente iguales. Los humanos no pueden producir un material que se encuentre en la naturaleza. Natural es un material sin sustancias agregadas. Procesados son materiales naturales y no materiales modificados por el hombre (el contraste sugerido entre materiales que son naturales y los procesados, causa dificultad pues, por ejemplo, los productos de la digestión son naturales y son resultado de procesos naturales).

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 “sustancia” y “material” que no son fácilmente conceptualizados por los alumnos. 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, 1989; Alvarado, 2000), la cual no toma en cuenta que muchos elementos consisten de mezclas de isótopos de los elementos. No es usual que se refieran a un elemento como una sustancia constituida por átomos del mismo número atómico, acepción vigente en la actualidad. Para algunos adultos un elemento es una sustancia natural, ignorándose la existencia de los elementos artificiales producidos por el hombre.

A los átomos se les considera como los bloques de construcción de la materia, a diferencia de niveles escolares más bajos, en que en ocasiones se les identifica como las piezas o unidades que resultan de la división de la materia.

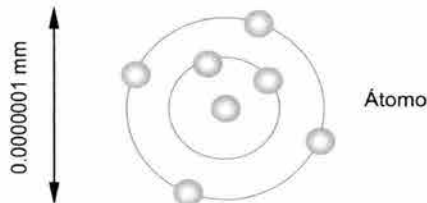
Un estudio (Alvarado, 2000) mediante el cual se analizaron 26 libros de texto de Biología de nivel secundaria, 9 de primer grado y 17 de segundo grado, autorizados por la Secretaría de Educación Pública y publicados en México entre los años 1994 y 1999, exhibe numerosos problemas conceptuales que poseen los autores de los libros, los cuales son profesores normalistas e incluso universitarios, egresados de carreras científicas. Así, presentan a los átomos como esferas sólidas, siendo que el átomo es fundamentalmente vacío (Figura 3):

Fig. 3 La mayoría de las moléculas presentes en los seres vivos incluyen al carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno



Representan con escala inadecuada el tamaño de las partículas del átomo (Figura 4):

Fig. 4 Niveles de organización de los seres vivos



Muestran erróneamente la composición y estructura del átomo (Figuras 5, 6 y 7):

Fig. 5 El átomo de carbono contiene 6 neutrones, 6 protones y 6 electrones

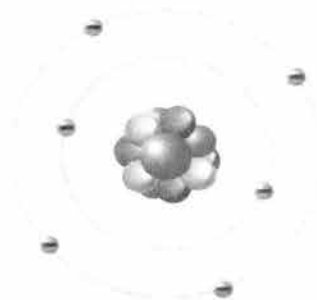


Fig. 6 Nube electrónica. La velocidad y las múltiples direcciones en las que se desplazan los electrones dejan huellas que forman una nube electrónica.

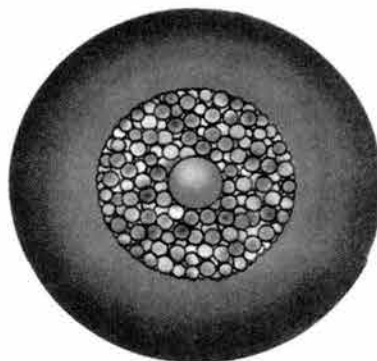
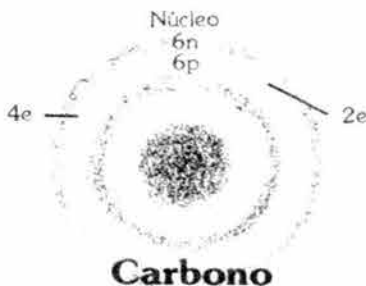


Fig. 7 Modelo del átomo de “nube de electrones”

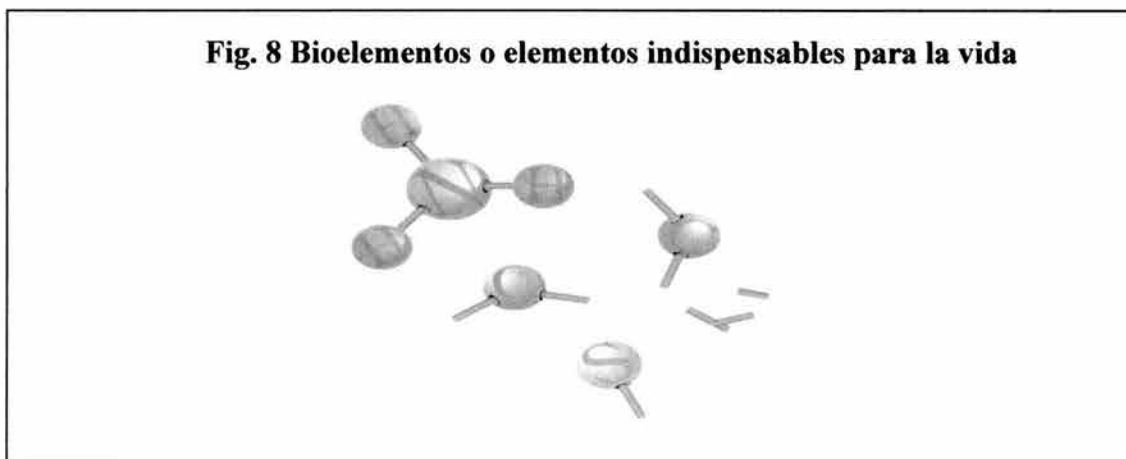


Emplean indistintamente los términos nivel de energía órbita, orbital, nube electrónica, capa y corteza, que corresponden a diferentes teorías o modelos atómicos.

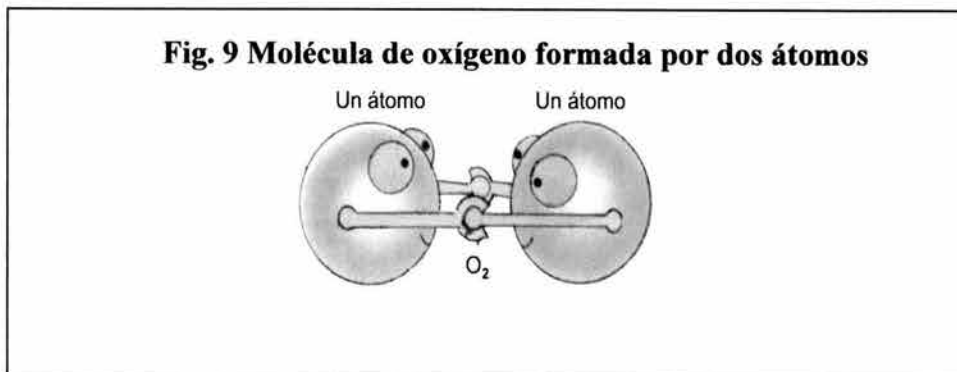
Expresan que la molécula es la unidad más pequeña de un elemento, siendo que es la partícula más pequeña de una sustancia (elemento o compuesto). Establecen la relación elemento-molécula en lugar de elemento-compuesto, empleando niveles macroscópicos y microscópicos de la estructura de la materia. Mencionan que el agua es un elemento, en lugar de un compuesto. Manifiestan que los seres vivos únicamente están constituidos por compuestos orgánicos, los cuales tienen vida (es importante subrayar que una sustancia por sí sola no tiene vida). Generalmente mencionan que los compuestos orgánicos contienen como elemento principal el carbono, mientras que los inorgánicos, no; esto parece indicar que todo compuesto que contenga

carbono es orgánico y que no hay compuestos inorgánicos que lo contengan. Emplean el término fórmula en lugar del término ecuación (una fórmula representa a un compuesto, una ecuación a una reacción), expresando, por ejemplo: “La fotosíntesis se representa con la siguiente fórmula” o “El proceso de fotosíntesis se resume en la siguiente fórmula”. Destacan que el petróleo es un compuesto (siendo una mezcla).

Se identificaron diversos preconceptos con relación al enlace químico, tales como que en los compuestos o moléculas orgánicos se presentan enlaces covalentes, a diferencia de los inorgánicos en que se hace referencia a los enlaces iónicos. Indistintamente indican que un enlace se establece entre elementos o entre átomos, lo cual puede generar confusión entre ambos casos. También citan: Los átomos comparten electrones cuando forman la materia viva. Los enlaces químicos se producen al compartirse electrones entre átomos. Existen diferentes tipos de enlaces o uniones, más en todos los casos se presenta una transferencia o intercambio de electrones. El carbono es el único elemento que puede formar enlaces covalentes al compartir sus electrones. Los enlaces iónicos ocurren entre moléculas o entre diferentes partes de una gran molécula. Incluso, se cita que por lo menos dos libros de los analizados pueden inducir en los alumnos la idea de que los enlaces son materia, uno mediante la pregunta ¿Qué papel cumplen los brazos o enlaces en una estructura atómica? y otro en que en una figura se representan los enlaces ajenos a la interacción entre átomos, con materialidad propia (Figura 8):



Esto es reforzado por las representaciones animistas de los átomos en algunos libros donde brazos actúan como enlaces entre átomos (Figura 9):



En un libro de Física sueco para nivel superior se puede leer: “Un átomo de hierro es la parte más pequeña del elemento hierro, el cual aún tiene propiedades de la sustancia”. Una descripción análoga puede encontrarse en una enciclopedia sueca bien conocida: “El átomo es la parte más pequeña de un elemento que posee las propiedades características del elemento”. Sobre las bases de definiciones tales como éstas, los alumnos expresan conclusiones como: “Si el hierro se expande cuando se calienta, los átomos del hierro incluso se expanden” y “Si el hierro puede fundirse, los átomos de hierro pueden fundirse”. Es decir, los alumnos transfieren conceptos de nivel macroscópico al nivel de los átomos (Andersson, 1990).

Ault, Novak y Gowin (1984) 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 manejan concepciones alternativas concernientes a los modelos atómicos y moleculares (Novick y Nussbaum, 1981; Ben-Zvi y otros, 1987).

Lazarowitz y Penso (1992) en una investigación con estudiantes y profesores de bachillerato relacionada con el aprendizaje de conceptos biológicos, identificaron que dentro de los siete niveles que representan las áreas de investigación y enseñanza de la Biología a nivel universitario: 1) molecular, 2) celular, 3) tejido y órgano, 4) organismo, 5) población, 6) comunidad y 7) bioma, se observaron notables dificultades en los niveles molecular y celular, pues muchos de los conceptos involucrados son abstractos y requieren una etapa operacional formal de pensamiento. Dentro de los temas considerados más complicados se mencionaron: Transporte de agua en los organismos, ósmosis y osmorregulación, la química de la respiración y fotosíntesis, ciclos de energía (ATP, ADP), respiración celular, síntesis de proteínas, mitosis y meiosis, estructura y función de las enzimas y teoría cromosómica de la herencia, los cuales requieren de una adecuada comprensión de la composición y estructura de la materia.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

4.1 DISEÑO Y ETAPAS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto consistió en llevar a cabo una investigación descriptiva, de tipo transversal y cuantitativo.

Es un estudio de tipo encuesta efectuado por una investigadora externa, que aún cuando presentaba la deficiencia parcial* en el conocimiento del ambiente educativo en que se cursan las tres carreras, se solicitó a profesores de las mismas que opinaran con relación al instrumento de investigación que se aplicaría a los estudiantes.

Dentro de la realización de este proyecto destacan las siguientes etapas:

- **Formulación del problema.**

Se definió el problema, consistente en investigar si con respecto al conocimiento que poseen acerca de la composición y estructura de la materia que constituye a los seres vivos y a los objetos y materiales inertes, existen diferencias importantes entre los estudiantes de las tres carreras de la UNAM representativas de campos disciplinarios, en que el conocimiento del tema es indispensable para la adecuada comprensión de múltiples fenómenos y procesos biológicos, físicos y químicos.

- **Identificación de la información necesaria para abordar el problema.**

Se revisó la bibliografía existente relacionada con el tema, lo que sirvió para integrar el marco teórico que guió la investigación y determinar los aspectos del tema en que convendría profundizar.

- **Identificación de la población de estudio y determinación de la muestra requerida.**

Se procedió a localizar la información con relación a la población de estudiantes adecuada para llevar a cabo la investigación. Se determinó la conveniencia de llevar a cabo este estudio comparativo con alumnos de las carreras de Biología, Física y Química, considerando que sus planes de estudio incluyen diversas asignaturas en varios semestres, relacionadas con el problema mencionado. Se determinó que fuesen estudiantes del último y del penúltimo semestre de su respectiva carrera, suponiendo que prácticamente ya han “completado” la adquisición de información sobre el tema en el aula y se consideró una muestra representativa de los estudiantes de cada carrera.

- **Selección y elaboración del instrumento para reunir los datos.**

Se determinó que un cuestionario sería el instrumento de investigación más adecuado para recopilar, a través de las respuestas de los alumnos, la información que permitiría conocer los aspectos más destacados del tema investigado y su interrelación.

Se elaboró una versión preliminar del cuestionario, la cual incluía una guía para entrevista, y se efectuó una prueba piloto con 30 estudiantes del último semestre de las carreras de Biología y de Física, en agosto del 2002.

* La autora de este estudio es profesora de asignatura del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias y egresada de la Facultad de Química, ambas de la UNAM.

Se examinaron las respuestas de los alumnos, presentándose mediante la ponencia “La influencia del campo disciplinario en el conocimiento que poseen estudiantes universitarios de Física y Biología acerca de la composición y estructura de la materia”, en la V Convención Nacional de Profesores de Ciencias Naturales (Morelia, 2002) y en el XXII Congreso Nacional de Educación Química (Ixtapa, 2003).

Se rediseñó el instrumento de investigación, elaborándose un cuestionario de 15 preguntas. (Apéndice 1).

- Recopilación de datos.

Se aplicó el cuestionario definitivo a una muestra de 158 alumnos, en mayo y junio del 2003.

- Análisis de datos.

Se analizaron las respuestas de los alumnos para clasificarlas en categorías que se adecuasen al propósito del estudio, para poner de manifiesto las semejanzas, diferencias y relaciones significativas entre los datos obtenidos, tomando en cuenta la procedencia de los alumnos en cuanto a la carrera que cursaban.

- Preparación del informe.

Se interpretaron y describieron los datos obtenidos, procurando que fuese en términos claros y precisos, empleando frecuentemente gráficas y tablas. Con ellos se presenta el trabajo “¿Conocen la estructura atómica los estudiantes de las carreras científicas de la UNAM?” en el XXIII Congreso Nacional de Educación Química (Mérida, 2004) y en la VI Convención Nacional de Profesores de Ciencias Naturales (Oaxaca, 2004) en la cual también se presenta el trabajo “El enlace químico entre estudiantes de Biología, Física y Química de la UNAM”.

4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

El Plan de Estudios de los estudiantes de Biología de la muestra se estableció en 1997, el de los de Física en 1967 y el de los de Química en 1987.

Para la selección cuantitativa de la muestra de alumnos por carrera, inscritos en el semestre 2003-2, a los cuales se les aplicó el cuestionario definitivo durante los meses de mayo y junio del 2003, se tomaron en cuenta los datos de las Agendas Estadísticas de la UNAM 1998-1999, 1999 (recordar la huelga de diez meses que afectó a la UNAM) y 2002, considerando la población de estudiantes que ingresó y egresó en esos años (Tabla 3), período que corresponde al de los estudiantes que colaboraron en el proyecto. Los datos oficiales del 2003 aún no estaban disponibles.

Tabla 3 Población que ingresó y egresó en los ciclos escolares 1998-1999, 1999 y 2002, en las carreras de Biología, Física y Química, en las Facultades de Ciencias y Química de la UNAM

Ciclo Escolar	Carrera	Población Primer ingreso	Población Egreso
1998-1999	Biología	310	347
	Física	221	102
	Química	93	40
1999	Biología	324	297
	Física	192	77
	Química	108	22
2002	Biología	336	429
	Física	230	99
	Química	125	43

Estos datos permitieron considerar que con base en la población estudiantil de los egresados, sobre todo de la carrera de Química, que es la de más baja demanda, una muestra de alrededor de 50 alumnos por carrera sería representativa de la población. Además, con la muestra de la prueba piloto (30 alumnos por carrera) se obtuvieron respuestas, con las cuales se pudo detectar la importante influencia que ejerce el campo disciplinario en la comprensión de un determinado concepto o una cierta problemática.

Aunque los resultados se dan en porcentajes, se consideró que una muestra semejante en cuanto al número de estudiantes por carrera facilitaría el análisis y comparación de los resultados.

Tomando en cuenta lo anterior, con la colaboración de los Coordinadores de Carrera correspondientes, se eligió el número de grupos necesario para completar la muestra definitiva, la cual se conformó con 54 alumnos de Biología, de cinco grupos; 51 de Física, de siete grupos; y, 53 de Química, de cuatro grupos. En total, intervinieron 158 alumnos sin considerar edad, género, promedio de calificaciones, ni historial académico.

4.3 INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

Considerando el tamaño de la muestra (158 alumnos en total), se seleccionó al cuestionario como instrumento de investigación para recopilar las ideas de los alumnos, presentándoles preguntas cuidadosamente formuladas y ordenadas con el propósito de obtener respuestas con la mayor objetividad posible y para facilitar su agrupación en determinadas categorías.

Un aspecto importante que se tomó en cuenta para formular las preguntas, fue orientarlas a nivel de conocimiento por comprensión y no de simple reconocimiento de datos aprendidos de memoria, tratando de establecer preguntas que eran básicas y estructurales, es decir, básicas porque constituyen las bases para aprender otros conocimientos y estructurales porque permiten organizar las relaciones conceptuales de los conocimientos de diferentes áreas del saber. Lo que

se pretendía explorar era la comprensión de principios, por lo que las preguntas se plantearon de forma que demandaran la reflexión de los alumnos para contestarlas.

Aunque el cuestionario de opción múltiple ofrece muchas ventajas, entre ellas que es muy confiable su evaluación porque queda bien definido lo que son las respuestas correctas, errores y omisiones, además de ser fácil de calificar, no se eligió pues su uso asume que todos los estudiantes aprenden el mismo material y en la misma forma, igualmente refuerzan un modelo particular de ciencia. Frecuentemente tienen la desventaja de limitarse a evaluar conocimientos aprendidos de memoria, porque el sujeto sólo tiene que reconocer cuál es la opción correcta (cabe la posibilidad de ofrecer varias opciones correctas, de tal manera que el alumno tenga que analizar, evaluar y juzgar la más acertada, haciendo de esta forma que la ejecución dependa más de la reflexión que de la simple identificación; sin embargo puede contestar al azar tratando de adivinar la respuesta correcta).

No se eligió la opción de efectuar entrevistas a los alumnos pues no se pretendía conocer aspectos particulares del conocimiento del tema; además de requerir del **entrenamiento adecuado por parte del entrevistador**.

Para el diseño del cuestionario se elaboraron una serie de preguntas que se sometieron a consideración de profesores universitarios, egresados de las tres carreras e impartiendo cursos de las disciplinas correspondientes. Tomando en cuenta sus opiniones, se diseñó **un cuestionario preliminar de veinte preguntas**, el cual se aplicó en marzo del 2002 a 30 estudiantes cursando el último semestre de las carreras de Biología y de Física.

El análisis de los resultados de la prueba piloto se presentó mediante la ponencia “La influencia del campo disciplinario en el conocimiento que poseen estudiantes universitarios de Física y Biología acerca de la composición y estructura de la materia”, en la V Convención Nacional de Profesores de Ciencias Naturales, el 27 de octubre del 2002, en Morelia, Mich., organizado por la Academia Mexicana de Profesores de Ciencias Naturales, y en el XXII Congreso Nacional de Educación Química, el 24 de septiembre del 2003, en Ixtapa, Gro., **organizado por la Sociedad Química de México**.

A partir del análisis de las respuestas de esta prueba piloto, se elaboró la versión final del cuestionario, el cual está conformado por 15 preguntas (Apéndice 1), cuyo propósito fundamental se presenta en la Tabla 6. Una vez elaborado el cuestionario, fue puesto a prueba para detectar si las **instrucciones eran explícitas, las preguntas claras y para definir el promedio del tiempo que llevaría contestarlo**.

Las 15 preguntas del cuestionario pueden agruparse en tres categorías principales (Tabla 4):

Tabla 4 Modalidades de las preguntas del cuestionario	
Modalidad	Preguntas N°
De respuesta abierta o libre	1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13
De respuesta cerrada	3, 4 y 5
De representación gráfica	14 y 15

Las dos primeras preguntas se elaboraron con la técnica de la asociación de ideas, con la intención de obtener de los alumnos los términos y conceptos que espontáneamente más relacionaban con Materia, intención en la cual se profundizó al solicitarles en la pregunta 2 que elaboraran enunciados incluyéndolos.

En las preguntas 4 y 5 se presentaba la posibilidad de que los estudiantes dieran simultáneamente varias opciones de respuesta.

Las preguntas del cuestionario, que sirvieron de base para el desarrollo de este proyecto, se orientaron principalmente hacia la investigación de algunos conceptos fundamentales relacionados con la estructura de la materia (Tabla 5):

Conceptos	Preguntas
Materia	1 y 2
Sustancias y materiales	3, 5, 6, 7 y 13
Materia en los seres vivos	3, 5, 6, 7 y 13
Moléculas, compuestos y mezclas	3, 4, 5, 8 y 15
Átomos y elementos	3, 4, 5, 7, 9, 10, 11 y 14
Enlace químico	12 y 13

4.4 APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

El cuestionario definitivo se aplicó a estudiantes cursando los semestres último y penúltimo de las carreras de Biología y Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM y de la carrera de Química de la Facultad de Química de la misma institución, durante los meses de mayo y junio del 2003.

Con el propósito de disminuir la posibilidad de que los alumnos ofrecieran respuestas parciales o se negaran a contestar, salvo dos excepciones, en todos los casos estuvo presente el profesor titular de la asignatura correspondiente.

El cuestionario se presentó personalmente, explicando el propósito y la significación de la investigación, aclarando dudas e induciendo a proporcionar respuestas serias, sinceras e individuales.

Es importante indicar que previamente se solicitó a los profesores que no mencionaran con anticipación a sus alumnos que iban a colaborar en esta investigación, para propiciar la espontaneidad en sus respuestas.

La duración promedio empleada por los estudiantes para contestar el cuestionario fue de 44 minutos (variando entre 27 minutos y 1 hora con 12 minutos).

En todos los casos el cuestionario se aplicó durante el horario normal y en el aula donde usualmente reciben su clase en Ciudad Universitaria.

4.5 VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

Un aspecto central de toda investigación es su validez. Esta investigación se desarrolló considerando diversos elementos que hacen confiables las respuestas obtenidas mediante el cuestionario:

- Las preguntas del cuestionario, instrumento de investigación seleccionado, se formularon tomando en cuenta el tratamiento del tema de la estructura de la materia en los programas y libros de texto de Biología, Física y Química de nivel bachillerato.
- Las preguntas del cuestionario se elaboraron con un nivel de comprensión de principios y no mediante la simple identificación de datos específicos.
- Se consultó a especialistas en educación y profesores de los tres campos disciplinarios elegidos, para solicitarles su opinión acerca de si las preguntas estaban relacionadas con el campo de su disciplina y si les parecían bien formuladas, tomándose en cuenta las adecuaciones que estimaron pertinentes.
- Se aplicó el cuestionario a 30 estudiantes de dos de las carreras como prueba piloto, con el propósito de hacer ajustes al cuestionario definitivo.
- Considerando la calidad de la muestra y la idea central de esta investigación, comparar el conocimiento de estudiantes de tres comunidades científicas acerca de la estructura de la materia, se conformó la muestra con estudiantes de los semestres último y penúltimo de cada una de las tres carreras seleccionadas.
- Se recurrió al anonimato de los estudiantes.
- Los alumnos no estaban enterados con anticipación de que iban a colaborar en esta investigación.

CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como una referencia para facilitar el análisis del propósito de las preguntas (Tabla 6) y la presentación y análisis de los resultados, se muestran tres mapas conceptuales (Figuras 10a y 10b, 11 y 12), con los conceptos, ramificaciones y relaciones acerca de la composición y estructura de la materia, tanto a nivel macroscópico como microscópico, y en el Apéndice 2 se discuten algunos de los conceptos básicos relacionados con el tema. El mapa conceptual no abarca todos los conceptos involucrados con el tema, simplemente refleja la mayoría de los que más se citaron en las preguntas, o bien, frecuentemente mencionaron los alumnos en sus respuestas.

Es importante mencionar que debido a la gran cantidad y variedad de ideas que los estudiantes manifestaron en varias de las respuestas del cuestionario (principalmente con respecto a las preguntas 1, 2, 5, 6, 7, 8, 10 y 12), se presentan las que corresponden a los porcentajes más elevados que se consideraron adecuados para efectuar el análisis correspondiente.

Debido a que el rendimiento escolar no es la variable de mayor importancia en esta investigación, no se “calificaron” las respuestas con base en si eran correctas o incorrectas, sin embargo, se detectaron numerosos y variados problemas conceptuales en los alumnos de las tres disciplinas, los principales de los cuales se mencionan al final de este capítulo.

Con parte de los resultados obtenidos a partir del análisis de las respuestas de los alumnos, se presentó el trabajo “¿Conocer la estructura atómica los estudiantes de las carreras científicas de la UNAM?” en el XXIII Congreso Nacional de Educación Química (Mérida, 2004) y en la VI Convención Nacional de Profesores de Ciencias Naturales (Oaxaca, 2004), en el cual también se presenta el trabajo “El enlace químico entre estudiantes de Biología, Física y Química de la UNAM”.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Tabla 6 PROPÓSITO DE LAS PREGUNTAS DEL CUESTIONARIO

- Pregunta 1. Determinar los conceptos que, con mayor frecuencia, se asocian espontáneamente con la materia.
- Pregunta 2. Analizar cuantitativa y cualitativamente los enunciados expresados a partir de los conceptos más frecuentemente relacionados con la materia.
- Pregunta 3. Determinar cuál es considerado, y a qué nivel (macroscópico, microscópico o nanoscópico) pertenece el componente más diminuto de diversos objetos, sustancias y materiales, así como detectar si se manifiestan diferencias en cuanto a aquellos que constituyen a los seres vivos.
- Pregunta 4. Elegir de entre diversos componentes macroscópicos y microscópicos propuestos, cuáles constituyen a los seres vivos.
- Pregunta 5. Determinar cómo se clasifican diversos objetos y materiales en determinadas especies (partículas, compuestos, etc.) establecidas.
- Pregunta 6. Detectar si se considera que existe diferencia entre la materia que constituye a los sistemas inertes y la que constituye a los seres vivos, con respecto a su composición química.
- Pregunta 7. Investigar si se estima que un elemento puede formar parte de la composición química, tanto en la materia que constituye a los sistemas inertes como de la que consisten los seres vivos, o si su presencia en una de ellas la excluye de la otra.
- Pregunta 8. Determinar a partir de ejemplos de compuestos y mezclas, cuáles son las principales características que se consideran para clasificarlos como tales.
- Pregunta 9. Indagar cuáles se considera que son las consecuencias de alterar la cantidad de partículas subatómicas.
- Pregunta 10. Detectar cuáles son los componentes, características o propiedades más importantes para diferenciar a los átomos de los diversos elementos químicos.
- Pregunta 11. Investigar si se considera que existen o no diferencias en la composición o estructura de las partículas subatómicas que conforman a los átomos de los elementos.
- Pregunta 12. Conocer qué se entiende por enlace químico.
- Pregunta 13. Investigar si se considera que existe diferencia en el tipo de enlaces químicos que se establecen en las sustancias que conforman a los seres vivos y las que forman a los cuerpos y objetos inertes.
- Pregunta 14. Identificar la representación gráfica considerada más conveniente para indicar la composición y estructura de un átomo cualquiera.
- Pregunta 15. Identificar la representación gráfica considerada más conveniente para indicar la composición y estructura de una molécula de agua.

Figura 10a Mapa conceptual con los conceptos más frecuentemente mencionados con relación a la composición y estructura de la materia, a nivel macroscópico

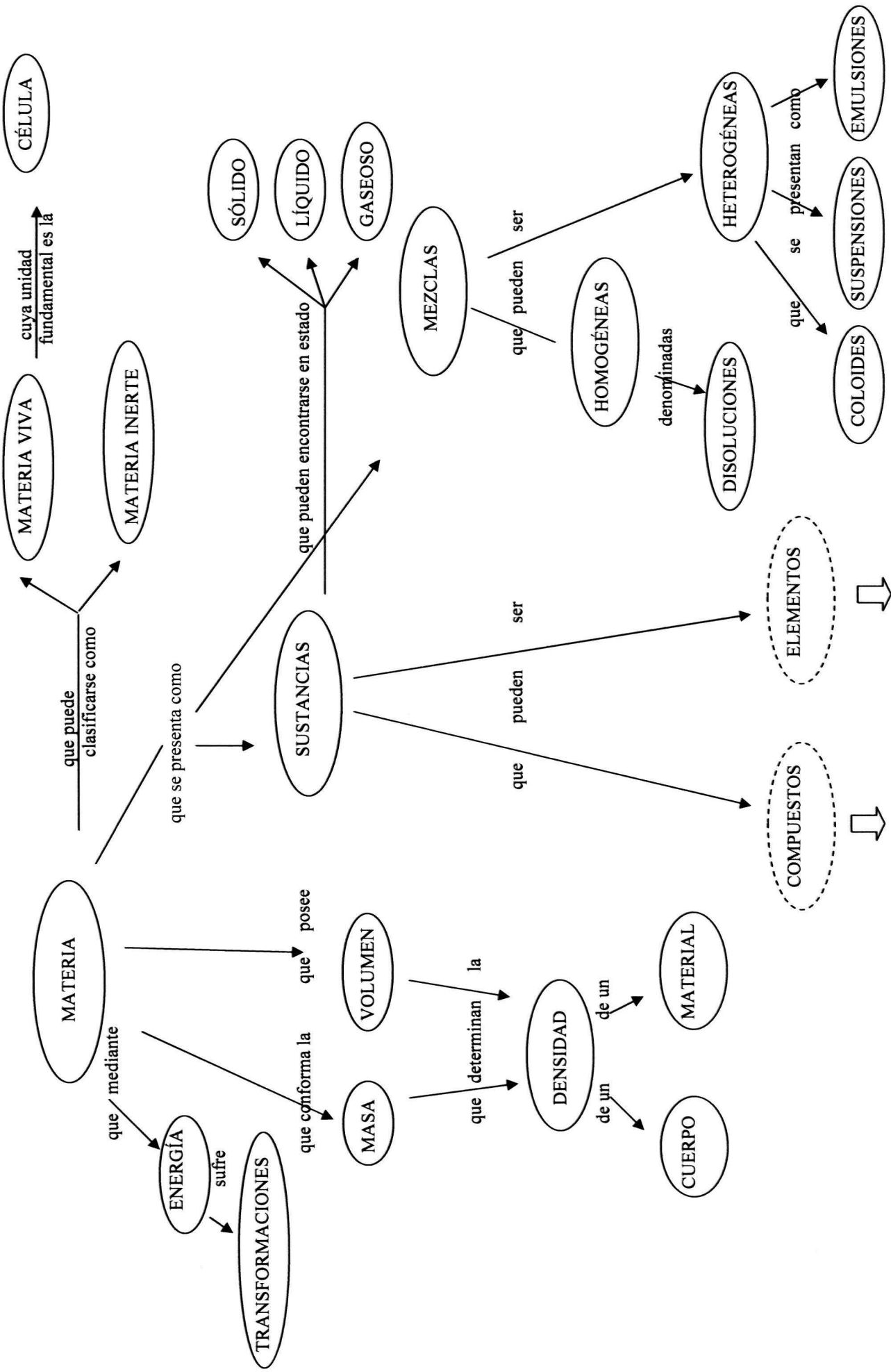


Figura 10b Mapa conceptual con los conceptos más frecuentemente mencionados con relación a la composición y estructura de la materia, a nivel microscópico

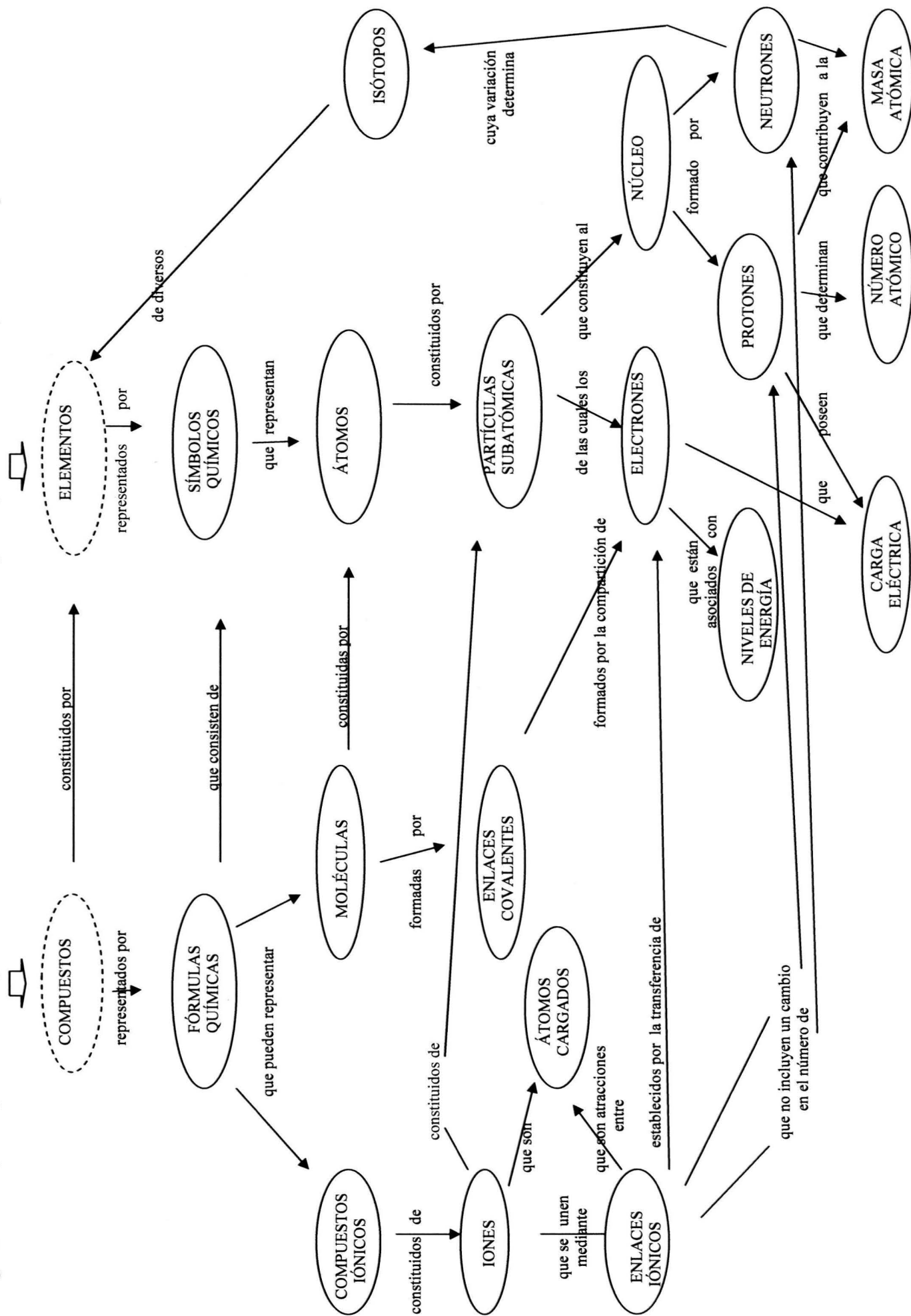
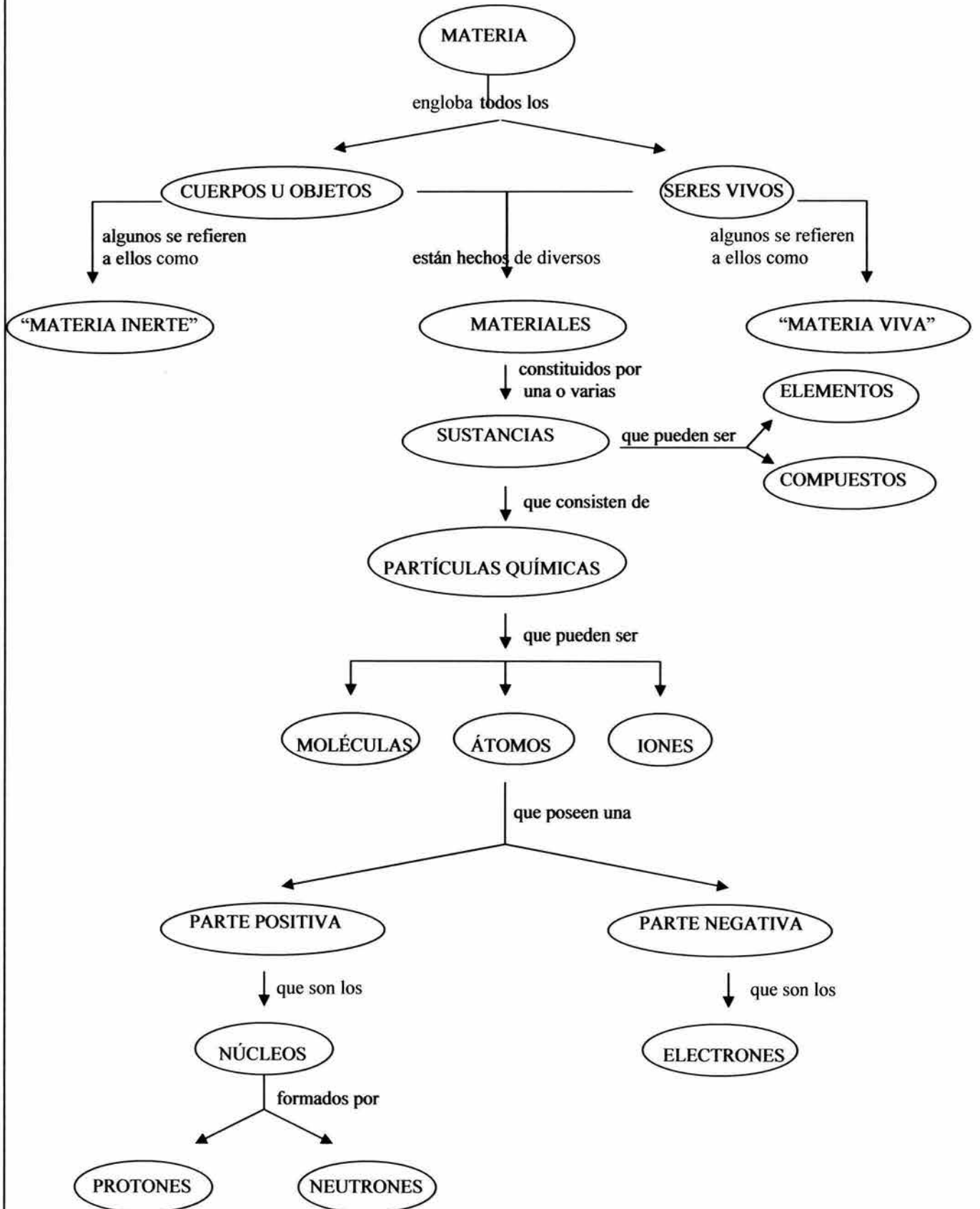
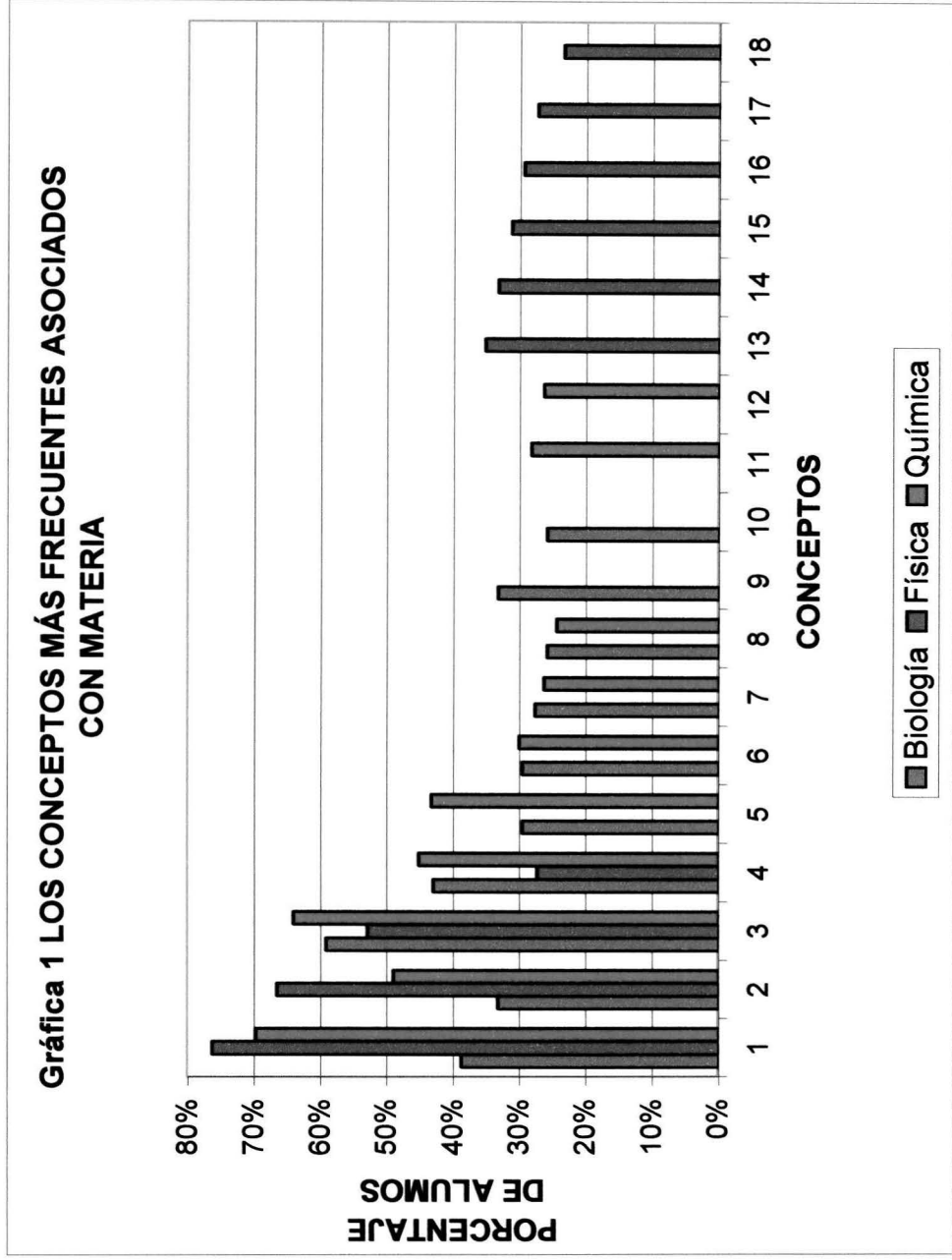


Fig. 11 Mapa conceptual con relación a la composición de la materia



PREGUNTA 1: ENLISTA 10 CONCEPTOS QUE ESTÉN RELACIONADOS CON EL CONCEPTO MATERIA

- 1 – Energía
- 2 – Masa
- 3 – Átomo
- 4 – Molécula
- 5 – Electrón
- 6 – Protón
- 7 – Elemento
- 8 – Transformación
- 9 – Peso
- 10 – Neutrón
- 11 – Enlace
- 12 – Estructura
- 13 – Densidad
- 14 – Volumen
- 15 – Partículas
- 16 – Momentum
- 17 – Interacción
- 18 – Fuerza



COMENTARIOS

Como se observa en la gráfica, los alumnos de las tres carreras coincidieron en cuatro (átomo, molécula, energía y masa) de los diez conceptos que más frecuentemente mencionaron. Los de Biología y Química en otros cuatro.

Esta coincidencia entre alumnos de Biología y Química podría ser consecuencia de la incorporación en el Plan de Estudios de la Carrera de Biología de materias como Química, Biología Molecular de la Célula I, II y III, Química Orgánica, Temas Selectos de Bioquímica, Citoquímica Molecular y Biología Molecular.

Sin embargo, es curioso que, por otro lado, existe coincidencia entre los de Física y de Química si se toman en cuenta las sumas de los porcentajes totales de las respuestas de los alumnos con respecto a sus diez conceptos más frecuentemente mencionados (403.4% para el caso de Física, 407.1% para Química, y en cambio, 346.3% para Biología). Incluso, en el caso de los cuatro conceptos mencionados en común por los alumnos de las tres carreras, hay coincidencia entre las sumas de porcentajes de Física y Química (223.3% y 228.1% respectivamente), contra 174.3% de Biología (ver Tabla 7), reflejando mayor dispersión en los conceptos citados por los estudiantes de Biología.

Tabla 7 Los conceptos más frecuentemente asociados con Materia

BIOLOGÍA (N = 54)	FÍSICA (N = 51)	QUÍMICA (N = 53)
Átomo (59.2%)	Energía (76.4%)	Energía (69.8%)
Molécula (43%)	Masa(66.6%)	Átomo (64.1%)
Energía (38.8%)	Átomo (52.9%)	Masa (49%)
Masa (33.3%)	Densidad (35.2%)	Molécula (45.2%)
Peso (33.3%)	Volumen (33.3%)	▶ Electrón (43.3%)
▶ Electrón (29.6%)	Partículas (31.3%)	◆ Protón (30.1%)
◆ Protón (29.6%)	Momentum (29.4%)	Enlace (unión) químico (28.3%)
● Elemento (27.7%)	Molécula (27.4%)	● Elemento (26.4%)
Neutrón (25.9%)	Interacción (27.4%)	Estructura (26.4%)
☞ Transformación (cambio) (25.9%)	Fuerza (23.5%)	☞ Transformación, cambio (físico, químico) (24.5%)

Además de los términos citados, los estudiantes expresaron otros en que se nota la influencia de la carrera que cursan:

Los de Biología mencionaron, por ejemplo: orgánica, inorgánica (14.8%); célula (12.9%); viva (11.1%); agua, árbol, sistemas (5.5%); animal, ecosistemas, organismos, biológica (3.7%).

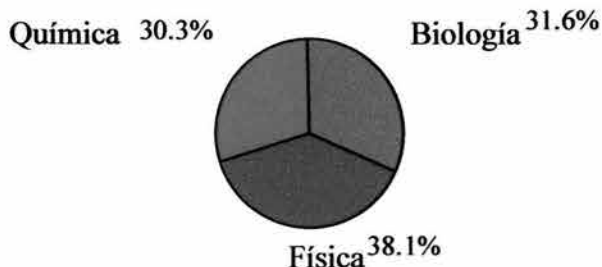
Entre los que nombraron los de Física se encuentran: composición (17.6%); gravedad (13.7%); campo eléctrico y magnético, carga, plasma (11.7%); aceleración, antimateria (7.8%); conductividad, fluidos, ímpetu, ondas, quarks (5.8%).

Los alumnos de Química anotaron, por ejemplo: compuesto (20.7%); composición (16.9%); reactividad (9.4%); cristalino (9.4%); ión, sustancia, carga (7.5%); análisis (5.6%); entropía, síntesis, punto de fusión, termodinámica (3.7%).

PREGUNTA 2: CONSTRUYE ENUNCIADOS SOBRE CUALQUIER TEMA (LA NATURALEZA, EL UNIVERSO, ETC.) EN LOS QUE INCLUYAS UNO O MÁS DE LOS CONCEPTOS QUE INDICASTE EN LA PREGUNTA 1. DEBES MENCIONAR CADA UNO DE LOS 10 CONCEPTOS.

Con respecto a los enunciados expresados por los alumnos de las tres carreras, acerca del concepto materia y los cuatro que con mayor frecuencia mencionaron en común, se presenta una gráfica para cada concepto comparando los porcentajes correspondientes a cada carrera, considerando el total de enunciados por concepto. Posteriormente se presentan los enunciados que corresponden a los tres mayores porcentajes por concepto y carrera.

MATERIA
(383 enunciados)



BIOLOGÍA

- 29.6% - La materia está constituida de átomos
- 22.2 % - La materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma (cambia)
- 14.8% - Existe materia orgánica e inorgánica

FÍSICA

- 23.5% - La materia posee diversos tipos de propiedades y características físicas y químicas
- 21.5% - La materia se encuentra en diversos estados. En sólido, líquido y gaseoso, e incluso plasma
- La materia está constituida por átomos
- Toda la materia tiene energía asociada
- 15.6% - Todo lo que existe en el universo está formado de materia

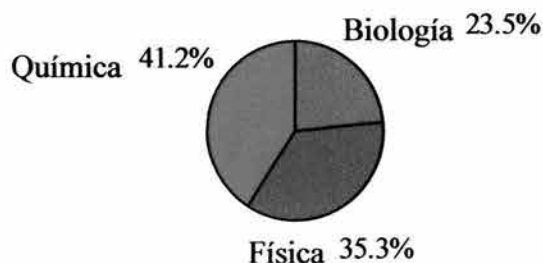
QUÍMICA

- 20.7% - La materia está constituida por diferentes átomos
- 15% - La materia presenta tres estados (de agregación): sólido, líquido y gaseoso
- 11.3% - La materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma

Los estudiantes de las tres carreras únicamente coincidieron en citar en forma destacada el enunciado “La materia está constituida de átomos”. Los de Química estuvieron de acuerdo con los de Biología en el relativo a la ley de la conservación de la materia “La materia no se crea ni se

destruye, sólo se transforma”, y con los de Física con el que se refiere a que “La materia se encuentra en diversos estados: sólido, líquido y gaseoso” (algunos estudiantes de Física también mencionaron “plasma”). Los de Química en ocasiones se refirieron a estados de agregación, los de Física a estados de la materia y los de Biología a estados físicos.

ÁTOMO
(170 enunciados)



BIOLOGÍA

- 18.5% - Los átomos están constituidos de protones, neutrones y electrones
- 11.1% - Los átomos constituyen la materia
- 9.2% - Los átomos constituyen a las moléculas

FÍSICA

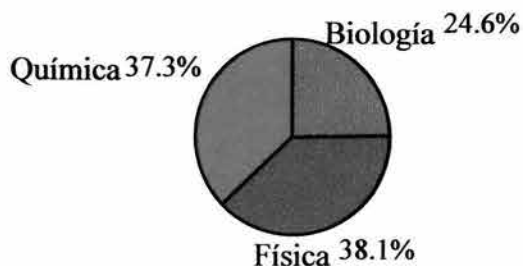
- 23.5% - Los átomos constituyen a las moléculas
- 21.5% - Los átomos están constituidos de protones, neutrones y electrones, e incluso de quarks
- 19.6% - La materia está constituida de átomos

QUÍMICA

- 18.8% - Los átomos forman moléculas al unirse
- 16.9% - Los átomos conforman la materia
- 13.2% - Todo el universo, la Tierra, están constituidos por átomos

En que “La materia está constituida de átomos” y “Los átomos constituyen a las moléculas” coincidieron estudiantes de las tres carreras, en tanto que sólo los de Biología y los de Física en cuanto a que “Los átomos están constituidos de protones, neutrones y electrones”, aún cuando algunos de Física incluyeron quarks.

ENERGÍA
(118 enunciados)



BIOLOGÍA

- 9.2% - La energía puede transformarse en materia y viceversa
- En los ecosistemas hay intercambio y flujo de materia y energía
- 7.4% - La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma
- 5.5% - La materia posee energía

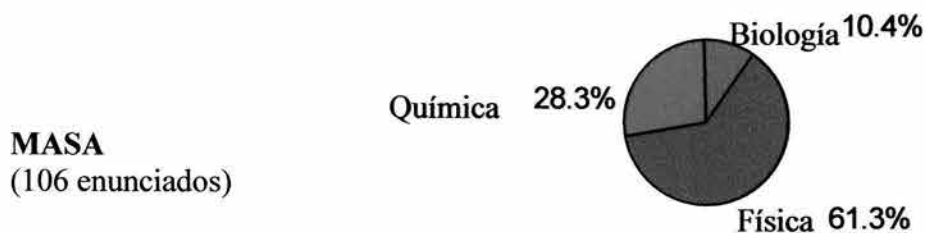
FÍSICA

- 19.6% - La energía relaciona la masa y la velocidad de la luz mediante la ecuación $E = mc^2$
- 11.7% - Toda la materia tiene energía asociada
- 7.8% - La materia es (está hecha de) energía
- La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma
- La energía se manifiesta en diversas formas (eléctrica, mecánica, luminosa, masa, momentum, etc.)

QUÍMICA

- 7.5% - La materia se puede transformar en energía y viceversa
- 5.6% - La materia es una manifestación de la energía
- 3.7% - En el universo los cuerpos poseen masa y energía determinadas
- La materia contiene energía (y carga)
- La materia se relaciona con la energía
- Existe una energía de activación necesaria para que ocurra una reacción

Alumnos de las tres carreras mencionaron que “La materia contiene energía”; de Biología y Química citaron que “La materia se puede transformar en energía y viceversa”; de Biología y Física se refirieron a la conservación de la energía: “La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma”.



BIOLOGÍA

- 3.7% - El peso es igual a la masa x gravedad (es la fuerza que la Tierra ejerce sobre esa masa)
- Masa es la cantidad de materia que tiene un cuerpo
- La materia tiene una masa determinada

FÍSICA

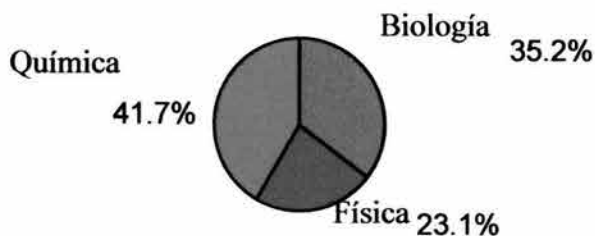
- 15.6% - Peso es la masa bajo el campo gravitatorio de otra masa que actúa sobre ella
- 13.7% - La masa es una característica de la materia
- La masa y el volumen determinan la densidad de la materia
- 11.7% - La masa y la velocidad de la luz determinan la energía de la materia
($E = mc^2$)

QUÍMICA

- 5.6% - Toda la materia posee masa
- 3.7% - La densidad relaciona la masa y el volumen
- En el universo, la materia, los cuerpos, tienen masa y energía definidas
- El peso se relaciona con el efecto de la gravedad sobre la masa
- La masa es diferente del peso

“El peso como relación del efecto de la gravedad sobre la masa” fue el único enunciado en que hubo coincidencia en las tres carreras. En Física y Química en cuanto a que “La masa y el volumen determinan la densidad” y en Biología y Química en que “La materia posee masa”.

MOLÉCULA (108 enunciados)



BIOLOGÍA

- 14.8% - Las moléculas están constituidas de átomos
- 11.1% - Las moléculas constituyen la materia
- 3.7% - Los seres vivos (materia orgánica) y los inertes (materia inorgánica) están constituidos de moléculas
- Las moléculas forman elementos, sustancias, compuestos, etc.

FÍSICA

- 23.5% - Las moléculas están constituidas de átomos
- 15.6% - La materia presenta estructura molecular (está constituida de moléculas)

QUÍMICA

- 18.8% - Los átomos forman moléculas al unirse
- 5.6% - Molécula es la unión de dos o más elementos
- 3.7% - Molécula es una de las unidades fundamentales de la materia en el universo

Hubo coincidencia en los estudiantes de las tres carreras al mencionar que “Las moléculas están constituidas de átomos” y que “Las moléculas constituyen la materia”.

COMENTARIOS

En general, de los cinco conceptos analizados, los estudiantes de Física fueron los que más enunciados (341) expresaron, posteriormente los de Química (305) y luego los de Biología (239). En forma notoria, al concepto de materia fue al que más se refirieron (383), luego a átomos (170), después a energía (118) y moléculas (108) y, por último, a masa (106).

Considerando un análisis cualitativo de los enunciados de los alumnos expresados con relación a la materia, la energía y la masa, se dividieron en “enunciados a nivel submicroscópico” (aquellos que se establecen entre conceptos al nivel de partículas, como moléculas, átomos y iones) y en “enunciados a nivel macroscópico” (que no corresponden al nivel de partículas). No se incluyeron los enunciados correspondientes a átomos y moléculas pues en su totalidad tendrían que incluirse en “enunciados a nivel microscópico”.

En la tabla 8 se presentan los porcentajes correspondientes a las dos categorías de enunciados mencionadas:

Tabla 8 Enunciados a nivel macroscópico y submicroscópico expresados por los alumnos				
	NIVEL	BIOLOGÍA	FÍSICA	QUÍMICA
MATERIA		121 enunciados	146 enunciados	116 enunciados
	Macro	74.6%	83.5%	74.9%
	Submicro	25.4%	16.5%	25.1%
ENERGÍA		29 enunciados	45 enunciados	44 enunciados
	Macro	89.9%	97.8%	88.7%
	Submicro	10.1%	2.2%	11.3%
MASA		11 enunciados	65 enunciados	30 enunciados
	Macro	100%	92.4%	90%
	Submicro	0%	7.6%	10%

En general se observa una muy marcada tendencia de los alumnos a referirse a nivel macroscópico, siendo aún más pronunciada en el caso de los de Física. Esta visión macroscópica de la materia en los estudiantes de Física puede deberse a que en la gran mayoría de las asignaturas obligatorias que cursan, se habla mucho de “cuerpos” con cierta masa, velocidad,

trayectoria, etc.; en Física Teórica II (Termodinámica) acerca de la teoría cinética se hace referencia a “pelotitas” que chocan con cierta energía; frecuentemente al tratar la gravitación, como partículas son considerados el Sol y los planetas; y en Física Teórica IV (Introducción a la Mecánica Cuántica) se estudia casi exclusivamente al átomo de hidrógeno. Sólo en algunas asignaturas optativas como Introducción a la Física de Partículas Elementales, en Física Atómica y Molecular, y en Química Cuántica, el enfoque del estudio de la materia es a nivel microscópico. En resumen, en general, se estudia mucho de física macroscópica y poco de física atómica o molecular.

Por cierto, al expresar enunciados con respecto a la materia, los estudiantes de Biología manifestaron cierta preferencia por expresar “estados físicos de la materia”, los de Física por “estados de la materia” y los de Química al referirse a “estados de agregación de la materia”.

A partir de los enunciados elaborados espontáneamente por los estudiantes, se observó que los de los alumnos de Biología son, en general, breves y con tendencia a vincularlos con los seres vivos:

“La materia está constituida de átomos, ya sea materia orgánica o materia inorgánica. El planeta Tierra está dividido en sistemas llamados ecosistemas, en los ecosistemas hay una continua interacción de la materia orgánica con la inorgánica, en estas interacciones hay pérdida y obtención de energía”

“La vida es materia y flujo de energía en el universo. La materia es todo lo que vemos y sentimos, cada elemento y cada molécula”.

“Todo ser viviente o materia orgánica, se constituye por moléculas al igual que la inorgánica”.

“En un ecosistema la materia fluye en forma de energía, esta energía se transforma pasando por los diversos tipos de organismos, desde moléculas simples a moléculas complejas y de nuevo a moléculas simples”.

“Un organismo unicelular está formado por átomos unidos por enlaces”.

Los enunciados de los de Física son mucho más largos y con frecuente referencia a las propiedades de la materia y a su energía:

“La materia se caracteriza por su densidad, propiedad determinada por su volumen y masa, además se tiene una temperatura la cual caracteriza su estado energético (energía interna); así mismo, tiene propiedades eléctricas que permite caracterizarlos como conductores y dieléctricos; por otro lado se tienen características ópticas como, por ejemplo, el índice de refracción”.

“Dentro del universo encontramos cuerpos compuestos de diferentes tipos de materia, la cual tratamos dependiendo de su estructura molecular (microscópica) y macroscópica, realizando estudios estadísticos sobre la interacción de éstos con otros que están cercanos a otros para dar lugar a su utilización en la explicación y aplicación tecnológica, tales como radiación, fluidos y ensambles con conductores y aislantes para sacar provecho de sus propiedades en su energía que por el hecho de ser materia tienen”.

“Se nos enseña que en el universo todo lo que ocupa un lugar en el espacio y tiene masa es materia. Además ésta se distribuye en lo que llamamos cuerpos. La materia tiene distintas propiedades físicas y químicas, entre las primeras se encuentra el hecho de que ocupa un volumen, tiene forma y se presenta en algún estado físico (sólido, líquido o gaseoso). Además de muchas otras como el color. Y en cuanto a propiedades químicas tenemos que toda la materia está constituida por átomos con diferentes arreglos microscópicos que permiten a la materia verse y comportarse diferente al resto, dependiendo del número de partículas que tengan o no, los átomos que la conforman”.

“La materia del Universo está compuesta de moléculas, pero si miramos más de cerca (en sentido figurado) encontramos que éstas a su vez están compuestas de átomos y que éstos a su vez están formados por partículas fundamentales, entre ellas los electrones. La energía se encuentra en la materia y puede manifestarse en cualquiera de sus formas: energía eléctrica, mecánica, etc. A veces confundimos los conceptos de masa y peso, pero a pesar de que están relacionados son diferentes. La masa es la cantidad de materia que contiene un cuerpo, el peso es esa misma masa puesta bajo un campo gravitatorio, es decir, es la fuerza que ejerce, en este caso la Tierra, sobre ese cuerpo. Al comparar los pesos se comparan las inercias”.

En el caso de los alumnos de Química, sus enunciados también son largos, refiriéndose a menudo a aspectos relacionados con la interacción de la materia y con los enlaces que presenta:

“Dice la teoría adoptada por los científicos o la ciencia moderna, que el universo se origina por una gran explosión, esta explosión desprendió gran cantidad de energía. Con ella se originaron los elementos químicos H y He por fisión y fusión nuclear. Sabemos actualmente que toda la materia está formada por átomos y estos átomos se componen por partículas subatómicas, como lo son los electrones y protones. La naturaleza y cantidad de partículas subatómicas permitieron caracterizar los elementos químicos y la manera que éstos forman compuestos gracias a su capacidad de formar un enlace químico”.

“El mundo en el que vivimos está rodeado de materia y que está definida y constituida por masa y un volumen. Es importante saber cómo está formada. Y que viéndola enfocado más químicamente esta materia que constituye al mundo puede tener energía y a su vez carga. Y que además todo lo que nos rodea está unido por medio de enlaces”.

“Los estados de la materia son básicamente sólido, líquido y gas, aunque hay otros de los cuales no se menciona mucho. La diferencia entre estos tipos de estado de la materia se debe principalmente a la naturaleza de los compuestos, así como también a la del enlace que presentan debido a los elementos que los forman, se podría decir que el estado sólido generalmente se forma por enlaces covalentes o iónicos, el líquido por la naturaleza del compuesto además que intervienen las interacciones electrostáticas y en los gases también a la naturaleza del compuesto y en ésta hay poca interacción entre una y otra molécula”.

“La química, hermosa ciencia que estudia la reactividad de la materia, busca calcular las propiedades fisicoquímicas de ésta por medio de modelos que expliquen la estructura, el arreglo de los electrones así como sus interacciones. La química también busca explicar los estados de agregación de la materia, así como el espacio, la masa y el volumen de ésta. El fin de todo conocimiento es encontrar la mejor aplicación de la materia en sus diversas aplicaciones”.

PREGUNTA 3: ¿CUÁL ES LA PARTE MÁS PEQUEÑA DE QUE ESTÁN COMPUESTOS LOS SIGUIENTE OBJETOS, SUSTANCIAS Y MATERIALES?

Tabla 9 Parte más pequeña constituyente de diversos objetos, sustancias y materiales.

	ÁRBOL	AIRE	AGUA POTABLE	SER HUMANO	GAS BUTANO	PIEDRA	MANZANA	LECHE
BIOLOGÍA	Célula 57.4% Átomo 29.6%	Átomo 44.4% Molécula 27.7%	Átomo 50% Molécula 24%	Célula 55.5% Átomo 24%	Átomo 57.4% Molécula 11.1%	Átomo 53.7% Mineral 14.8%	Célula 38.8% Átomo 31.4%	Átomo 38.8% Molécula 20.3%
FÍSICA	Célula 27.4% Quark 19.6%	Molécula 25.4% Quark 19.6%	Molécula 27.4% Quark 19.6%	Célula 25.4% Quark 19.6%	Molécula 23.5% Quark 19.6%	Molécula 23.5% Quark 19.6%	Quark 19.6% Célula 17.6%	Molécula 23.5% Quark 29.6%
QUÍMICA	Átomo 22.6% Célula 18.8%	Átomo 24.5% Molécula 20.7%	Molécula 26.4% Átomo 24.5%	Átomo 28.3% Célula 28.3%	Átomo 28.3% Molécula 22.6%	Átomo 28.3% Molécula 18.8%	Átomo 18.8% Célula 13.2%	Átomo 18.8% Molécula 16.9%

COMENTARIOS

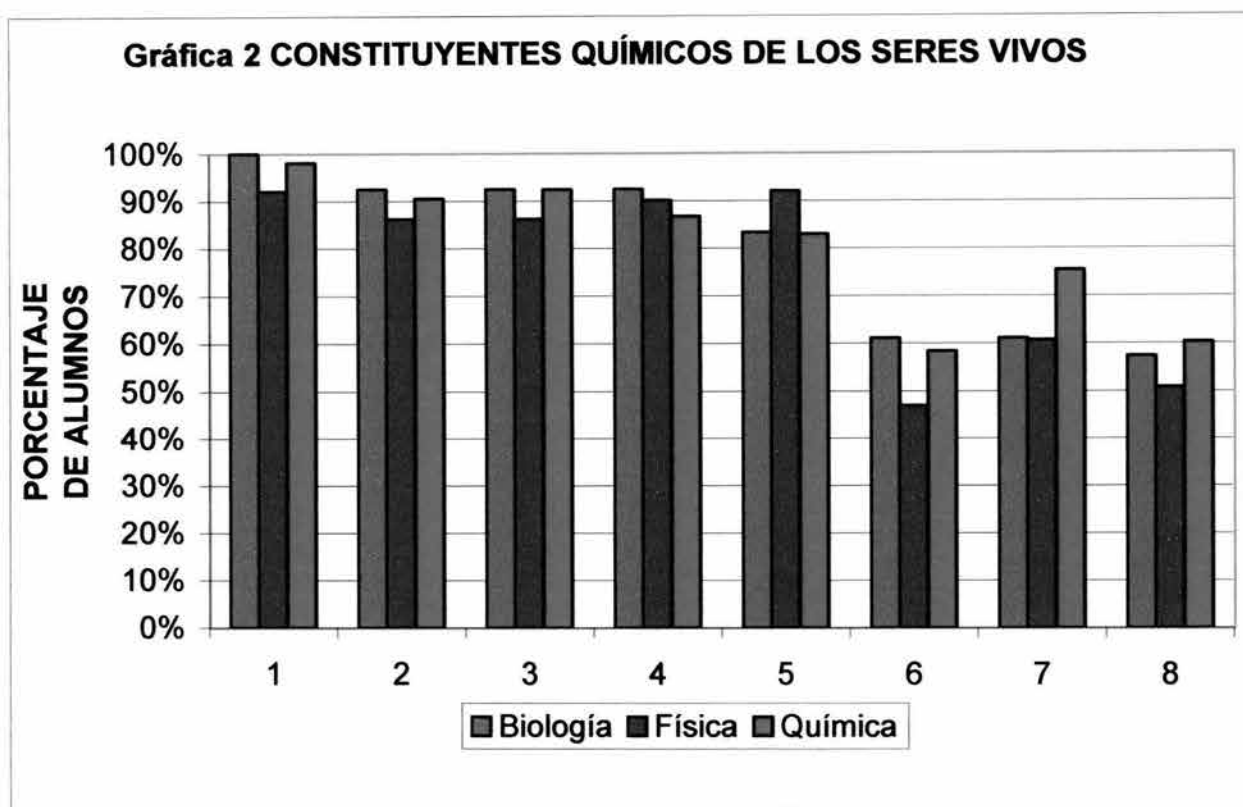
Los estudiantes de las tres carreras coincidieron al mencionar a las células en el caso de los cuerpos y materiales relacionados directamente con la vida (árbol, ser humano, manzana), aunque no en el caso de la leche; los de Biología y Química también citaron a los átomos, únicamente los de Física se refirieron a los quarks.

También hubo coincidencia en las tres carreras al citar a la molécula con relación a cuerpos y materiales inertes (piedra, aire, agua potable y gas butano). En este caso, nuevamente coincidieron los de Biología y Química anotando también átomo y los de Física mencionando quarks.

Los porcentajes no suman 100% porque sólo se reportan los dos porcentajes más altos en cada caso.

PREGUNTA 4: DE LAS OPCIONES QUE SE DAN, MARCA CON UNA CRUZ AQUELLAS QUE CREAS QUE FORMAN PARTE DE LOS SERES VIVOS

- | | |
|----------------|------------------|
| 1.- Moléculas | 5.- Protones |
| 2.- Compuestos | 6.- Coloides |
| 3.- Átomos | 7.- Mezclas |
| 4.- Electrones | 8.- Suspensiones |



COMENTARIOS

En general se presenta una notable semejanza en las respuestas, incluso los estudiantes de las tres carreras mostraron un similar desconocimiento, más notorio en los de Física, con relación a que coloides, mezclas y suspensiones forman parte de los seres vivos.

Aunque no en forma destacada, esta gráfica corrobora el mayor conocimiento que acerca de la composición química de los seres vivos deben poseer los de Biología; el caso opuesto corresponde a los de Física, para quienes no es usual el manejo y comprensión de términos como molécula, compuesto, coloide y suspensión.

PREGUNTA 5: INDICA EN LA SIGUIENTE TABLA, CUÁLES CONSIDERAS:

Cuerpos (cu)	Mezclas (me)	Átomos (at)
Sustancias (su)	Partículas (pa)	Compuestos (co)
Elementos (el)	Moléculas (mo)	

Tabla 10 Clasificación por los estudiantes de Biología, de diversos objetos y materiales en especies establecidas

Trozo de sal común	co	66.6%	cu	27.7%	mo	22.2%
Leche	me	62.9%	su	48.1%	co	25.9%
Aire	me	55.5%	co	24.0%	mo	22.2%
Petróleo	me	51.0%	co	37.0%	su	33.3%
Núcleo atómico	pa	59.2%	at	27.7%	cu	20.3%
Oxígeno	el	77.7%	at	31.4%	mo	24.0%
Metal	el	44.4%	cu	37.0%	co	33.3%
Gas	me	35.1%	co	33.3%	mo	20.3%
Líquido	su	55.5%	me	35.1%	co	31.4%
Sólido	cu	64.8%	co	27.7%	me	16.6%
Agua líquida	su	46.2%	mo	38.8%	co	29.6%
Hielo	cu	44.4%	mo	33.3%	co	22.2%
Vapor de agua	mo	31.4%	pa	18.5%	su	16.6%
Electrón	pa	68.9%	at	16.6%	mo	7.4%, el 7.4%, cu 7.4%
Madera	cu	79.6%	co	24.0%	me	16.6%, mo 16.6%

Cuerpos	Madera	79.6%	Sólido	64.8%	Hielo	44.4%
Sustancias	Líquido	55.5%	Leche	48.1%	Agua líquida	46.2%
Elementos	Oxígeno	77.7%	Metal	44.4%	Gas	18.5%
Mezclas	Leche	62.9%	Aire	55.5%	Petróleo	51%
Partículas	Electrón	68.5%	Núcleo	59.2%	Aire	20.3%
Moléculas	Agua líquida	38.8%	Hielo	33.3%	Vapor de agua	31.4%
Átomos	Oxígeno	31.4%	Núcleo	27.7%	Gas	18.5%
Compuestos	Trozo de sal común	66.6%	Petróleo	37%	Metal	33.3%
					Gas	33.3%

Los porcentajes no suman 100% porque se aceptaron diversas opciones para cada especie, reportándose únicamente los tres más altos.

Tabla 11 Clasificación por los estudiantes de Física, de diversos objetos y materiales en especies establecidas

Trozo de sal común	co	66%	cu	45%	mo	29.4%
Leche	me	60.7%	su	52.9%	co	25.4%
Aire	me	68.6%	co	37.2%	mo	25.4%
Petróleo	me	54.9%	co	50.9%	su	43.1%
Núcleo atómico	pa	66%	cu	19.6%	at	15.6%
Oxígeno	el	84.3%	at	33%	mo	17.6%
Metal	cu	50.9%	el	39.2%	co	23.5%
Gas	me	41.1%	co	37.2%	su	35.2%
Líquido	su	50.9%	me	41.1%	co	31.1%
Sólido	cu	41.1%	co	31.1%	su	27.4%
Agua líquida	co	52.9%	su	47%	mo	41.1%
Hielo	co	52.9%	cu	39.2%	mo	35.2%
Vapor de agua	co	49%	mo	43.1%	su	29.4%
Electrón	pa	78.4%	cu	13.7%	su	7.8%
Madera	cu	62.7%	co	31.1%	su	27.4%

Cuerpos	Madera	62.7%	Metal	50.9%	Trozo de sal común	45.0%
Sustancias	Leche	52.9%	Líquido	50.9%	Agua líquida	47.0%
Elementos	Oxígeno	84.3%	Metal	39.2%	Gas	25.4%
Mezclas	Aire	68.6%	Leche	60.7%	Petróleo	54.9%
Partículas	Electrón	78.4%	Núcleo atómico	66.0%	Sólido	23.5%
Moléculas	Vapor de agua	43.1%	Agua líquida	41.1%	Hielo	35.2%
Átomos	Oxígeno	33.0%	Sólido	19.6%	Gas	17.6%
					Metal	17.6%
Compuestos	Trozo de sal común	66.0%	Agua líquida	54.9%	Hielo	52.9%

Los porcentajes no suman 100% porque se aceptaron diversas opciones para cada especie, reportándose únicamente los tres más altos.

Tabla 12 Clasificación por los estudiantes de Química, de diversos objetos y materiales en especies establecidas

Trozo de sal común	co	64.0%	su	37.7%	cu	35.8%
Leche	me	81.1%	su	43.3%	co	30.1%
Aire	me	73.5%	su, mo, co	24.5%	pa	22.6%
Petróleo	me	69.8%	su	45.2%	co	41.5%
Núcleo atómico	pa	56.6%	cu	26.4%	at	20.7%
Oxígeno	el	77.3%	at	45.2%	mo	43.3%
Metal	el	60.3%	cu	43.3%	co	33.9%
Gas	me, co	41.5%	su	35.8%	el	22.6%
Líquido	su	75.4%	co	43.3%	me	28.3%
Sólido	co	54.7%	cu	49.0%	su	47.1%
Agua líquida	su	67.9%	co	60.3%	mo	50.9%
Hielo	co	54.7%	cu	49%	mo	47.1%
Vapor de agua	co	52.8%	su mo	45.2%	me	13.2%
Electrón	pa	84.9%	at	11.3%	cu	9.4%
Madera	cu	69.8%	co	37.7%	me	35.8%

Cuerpos	Madera	69.8%	Sólido	54.7%	Hielo	49.0%
Sustancias	Líquido	75.4%	Agua líquida	67.9%	Sólido	47.1%
Elementos	Oxígeno	77.3%	Metal	60.3%	Sólido	26.4%
Mezclas	Leche	81.1%	Aire	73.5%	Petróleo	69.8%
Partículas	Electrón	84.9%	Núcleo atómico	56.6%	Aire	22.6%
					Sólido	22.6%
Moléculas	Agua líquida	50.9%	Hielo	47.1%	Vapor de agua	45.2%
Átomos	Oxígeno	45.2%	Sólido	26.4%	Núcleo atómico	20.7%
Compuestos	Trozo de sal común	64.0%	Agua líquida	60.3%	Hielo	54.7%

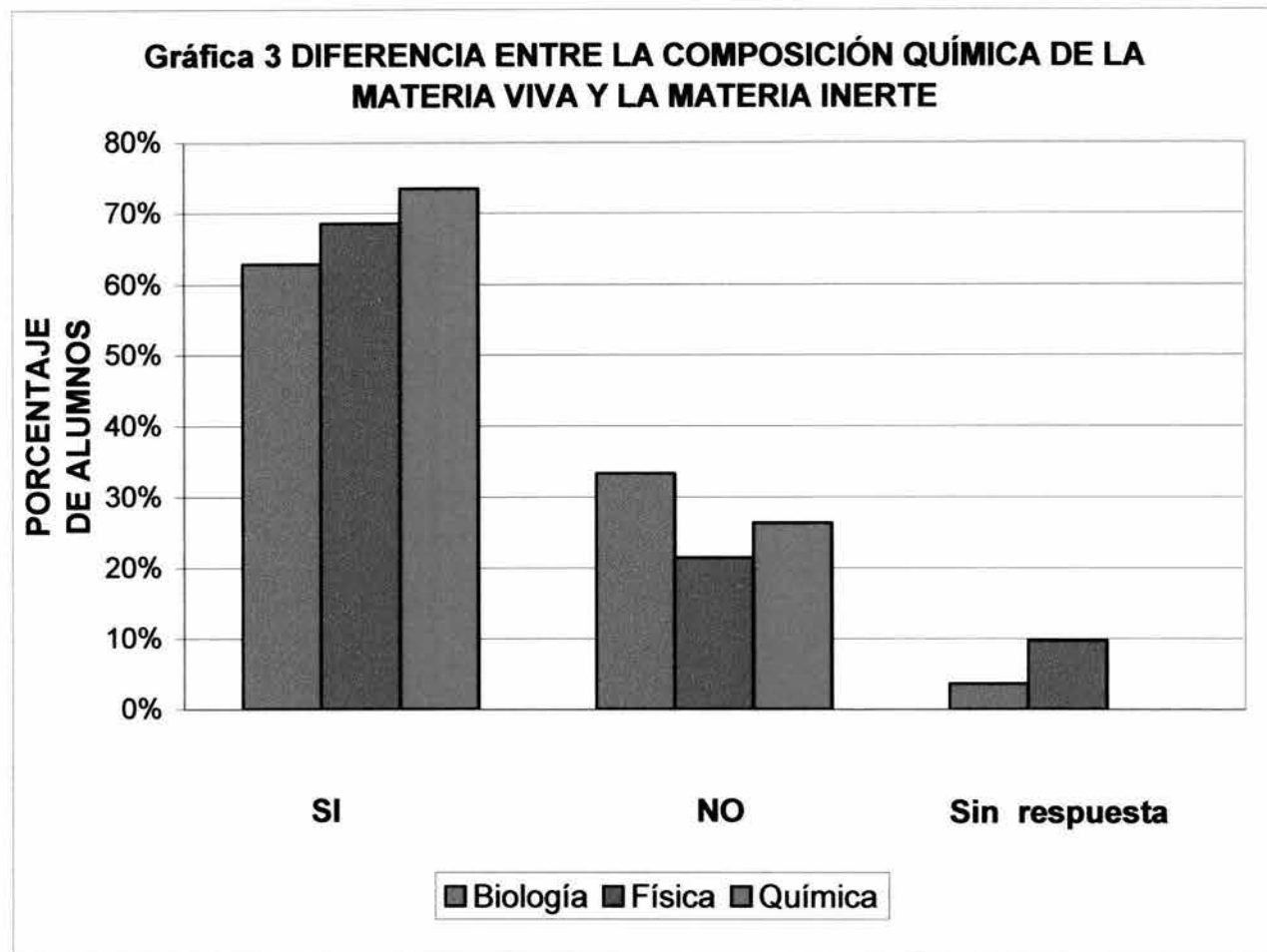
Los porcentajes no suman 100% porque se aceptaron diversas opciones para cada especie, reportándose únicamente los tres más altos.

COMENTARIOS

El análisis de la información obtenida a partir de las Tablas 10, 11 y 12, da lugar a muy variados comentarios, algunos de los cuales son:

- Únicamente los alumnos de Física consideraron al agua como un compuesto, en primer lugar, sin considerar su estado físico (agua líquida, hielo, vapor de agua). Los de Química al hielo y vapor de agua como compuesto y al agua líquida como sustancia. Los de Biología, en cambio, la consideraron sustancia en estado líquido, como cuerpo en estado sólido (hielo) y como molécula en estado gaseoso (vapor de agua).
- Aunque los estudiantes de las tres carreras coincidieron en forma importante en que petróleo, aire y leche son mezclas, los de Química lo expresaron en mayores porcentajes (B – 51%, 55.5% y 62.9%; F – 54.9%, 68.6% y 60.7%; Q – 69.8%, 73.5% y 81.1%; respectivamente).
- En las tres carreras hubo marcada coincidencia al considerar a los líquidos como sustancias; únicamente en el caso de Química expresaron que los sólidos también podían ser sustancias.
- Como moléculas hubo coincidencia total al considerar como tales al agua líquida, hielo y vapor de agua (B – 38.8%, 33.3% y 31.4%; F – 41.1%, 35.2% y 43.1%; Q – 50.9%, 47.1% y 45.2%; respectivamente). Como se observa, los porcentajes más altos correspondieron a los de Química y los más bajos a los de Biología.
- Como cuerpo hubo coincidencia en considerar como requisito que fuese sólido. Sin embargo, a un trozo de sal común se le asignó mayoritariamente la categoría de compuesto en las tres carreras (B – 66.6%, F – 66%, Q – 64%) en lugar de como cuerpo. Llama la atención que los de Física no hayan tomado en cuenta, por ejemplo, a cuerpos celestes como las estrellas, que están constituidas fundamentalmente por gases. Madera fue el “cuerpo” que obtuvo el mayor porcentaje entre los estudiantes de las tres carreras (B – 79.6%, F – 62.7%, Q – 77.3%).
- Con respecto a identificar cuáles eran elementos, como era de esperarse, el oxígeno fue el elegido con porcentajes bastante elevados (B – 77.7%, F – 84.3% y Q – 77.3%).
- No sorprende que como partícula se haya elegido en primer lugar al electrón con porcentajes elevados (B – 68.5%, F – 78.4% y Q – 84.9%), sobresaliendo los estudiantes de Química.
- Desafortunadamente, un porcentaje bastante elevado de estudiantes de las tres carreras (B – 37%, F – 50.9% y Q – 41.5%) consideraron al petróleo como compuesto.
- Tanto aire como gas fueron considerados en primer lugar como mezclas (B – 55.5% y 35.1%; F – 68.6% y 41.1% y Q – 73.5% y 41.5%, respectivamente).

PREGUNTA 6: CONSIDERANDO SU COMPOSICIÓN QUÍMICA ¿EXISTE DIFERENCIA ENTRE LA MATERIA VIVA Y LA MATERIA INERTE? ¿POR QUÉ?



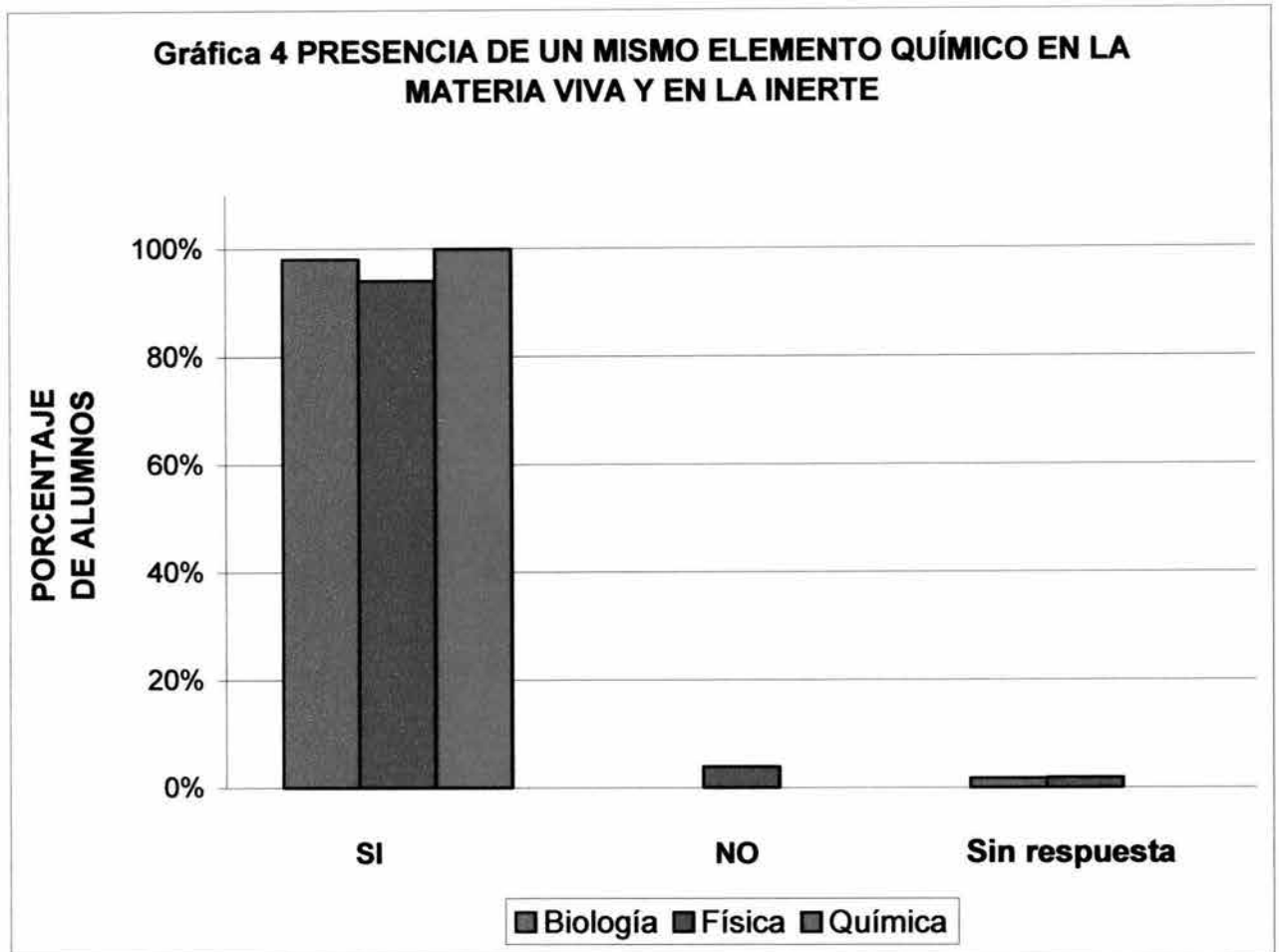
COMENTARIOS

Se presenta marcada coincidencia al considerar gran parte de los estudiantes (B – 62.9%, F – 68.6% y Q – 73.5%), que la materia viva y la inerte son diferentes en su composición química. La principal justificación que da la mayoría para expresar lo anterior, radica en la presencia de carbono en la materia viva y su ausencia en la inerte.

Los estudiantes de Biología mencionan también que la materia viva es más compleja, que se replica y que en ella hay flujo de energía. Los de Física se refieren a las células que presentan; y los de Química a las funciones y procesos que pueden efectuarse en ella.

En el caso de los alumnos de Biología y de Química que expresaron que no existe diferencia en la composición de ambos tipos de materia, la principal razón que manifestaron fue que en ambas pueden encontrarse los mismos elementos. Entre los de Física fue que ambas están constituidas por átomos.

PREGUNTA 7: ¿CREES QUE UN MISMO ELEMENTO PUEDA CONSTITUIR TANTO A LA MATERIA VIVA COMO A LA MATERIA INERTE? JUSTIFICA TU RESPUESTA.



COMENTARIOS

Con respecto a esta pregunta, como se observa en la Gráfica 4 no hubo diferencia notoria en las respuestas afirmativas de los alumnos pues únicamente dos alumnos de Física respondieron negativamente, y solamente uno de Biología y uno de Física no la contestaron. Incluso, al justificar su respuesta, los alumnos de las tres carreras coincidieron en mencionar en forma destacada el caso del carbono como elemento que constituye a la materia viva (como proteínas, lípidos, carbohidratos, en las células) y a la inerte (en el grafito, petróleo y diamante).

PREGUNTA 8: MENCIONA UN EJEMPLO DE UN COMPUESTO Y UNO DE UNA MEZCLA Y EXPLICA POR QUÉ LOS CLASIFICAS ASÍ.

Tabla 13 Ejemplos de compuestos más frecuentemente mencionados

BIOLOGÍA		FÍSICA		QUÍMICA	
Sal	31.4%	Agua	33.3%	Sal	37.7%
Agua	16.6%	Sal	25.4%	Agua	17.6%
Ácido clorhídrico	3.70%			Metano	7.50%
Sin respuesta	12.9%	Sin respuesta	13.7%	Sin respuesta	18.8%

Los porcentajes no suman 100% pues únicamente se reportan los tres más altos.

Tabla 14 Ejemplos de mezclas citados con más frecuencia

BIOLOGÍA		FÍSICA		QUÍMICA	
Agua salada	16.6%	Agua salada	27.4%	Agua salada	28.3%
Aire	11.1%	Aire	13.7%	Aire	18.8%
Agua con aceite	5.50%	Leche	11.7%	Leche	11.3%
Agua azucarada	5.50%				
Sin respuesta	12.9%	Sin respuesta	15.6%	Sin respuesta	9.40%

Los porcentajes no suman 100% pues únicamente se reportan los tres más altos.

Tabla 15 Caracterización de un compuesto

BIOLOGÍA

FÍSICA

QUÍMICA

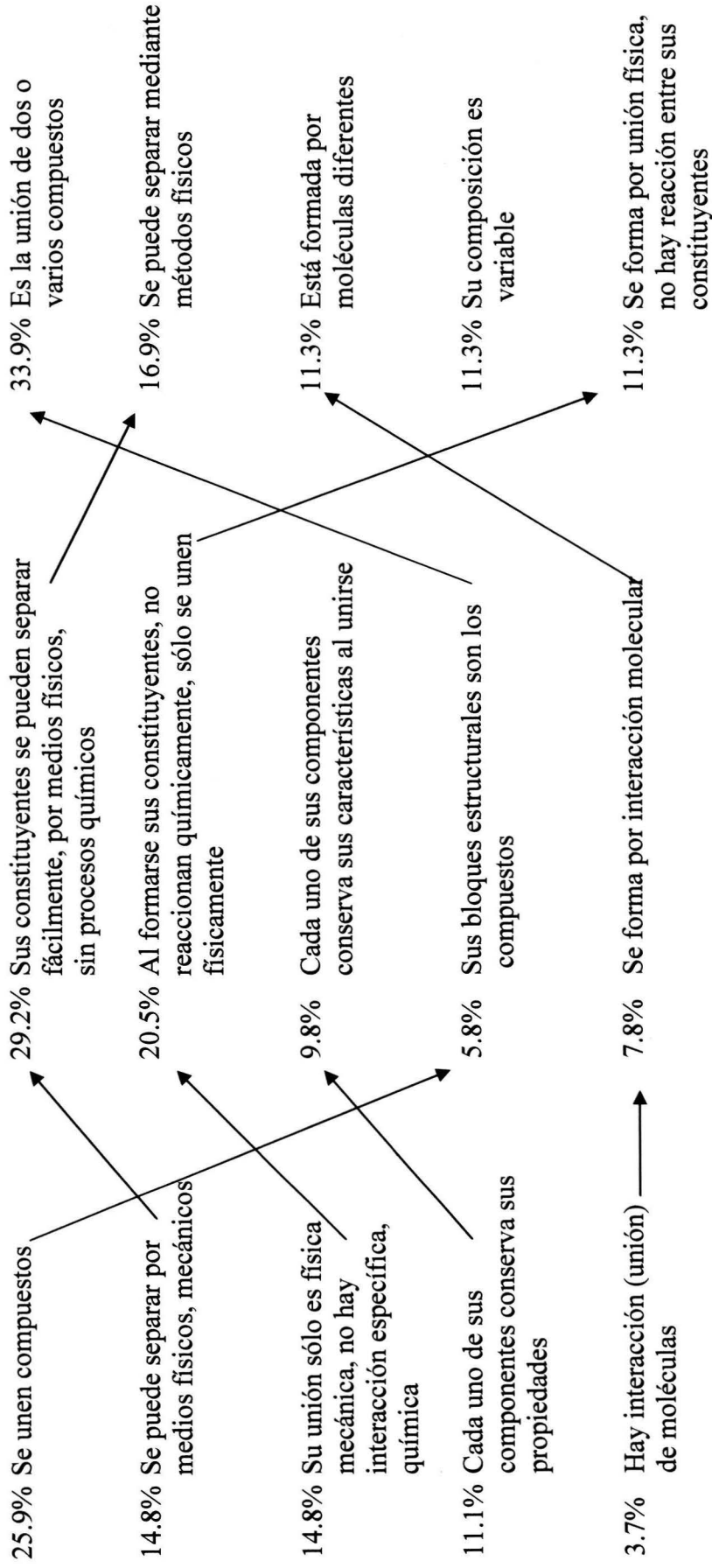
35.4%	Se unen elementos químicos	11.7%	Está formado por elementos diferentes combinados	26.4%	Es la unión de dos o más elementos
5.5%	No se puede separar por medios físicos	9.8%	Sus constituyentes están ligados químicamente	15%	Está formado por moléculas (iguales)
5.5%	Hay interacción química de sus componentes	9.8%	Sus componentes sólo se separan mediante métodos químicos	9.4%	Sustancia con número determinado de átomos de diferentes elementos en proporciones constantes (con composición estequiométrica)
5.5%	Se forma a partir de enlaces entre átomos	7.8%	Presenta propiedades que no tiene cada elemento por separado	5.6%	No se puede separar mediante métodos físicos
3.7%	Cambia la conformación de los elementos	5.8%	Sus elementos no se pueden separar mediante métodos físicos	5.6%	Ninguno de sus constituyentes conserva sus propiedades originales
3.7%	No se separa fácilmente	5.8%	Es la unión de moléculas (iguales)	5.6%	Es una sustancia pura
3.7%	Tiene composición definida	3.9%	Se forma por la unión de átomos	3.7%	Sólo puede separarse por método químicos
3.7%	Sus componentes pueden separarse por medio físicos	3.9%	Sus fuertes enlaces atómicos permiten la formación de moléculas	3.7%	Se forma mediante uniones químicas

Tabla 16 Caracterización de una mezcla

BIOLOGÍA

FÍSICA

QUÍMICA



COMENTARIOS

Por la naturaleza de la pregunta (dar ejemplos) hubo gran dispersión de respuestas, dándose el caso de múltiples ejemplos mencionados en una sola ocasión.

Se observa en las Tablas 13 y 14 que como ejemplos de compuestos, mayoritariamente sólo se mencionaron la sal y el agua (con gran coincidencia en orden y porcentajes entre los estudiantes de Biología y de Química), y en el caso de mezclas al agua salada y al aire (concordando más los de Física y los de Química).

La sal (cloruro de sodio) es un ejemplo típico que libro y maestro emplean al explicar el estado sólido, redes cristalinas, disoluciones, disociación, etc.

Sorprende el relativamente elevado porcentaje de alumnos que no proporcionaron ejemplos de compuestos, ni de mezclas (B – 12.9% en ambos casos; F – 13.7% y 15.6%; Q – 18.8% y 9.4%).

Los de Química fueron los que menos omitieron responder esta pregunta y aún cuando en ocasiones no dieron los ejemplos, sí expresaron sus características.

Es importante indicar que al ejemplificar compuestos y mezclas, los de Química (45) fueron los que más recurrieron al uso de fórmulas, en comparación con los de Biología (27) y los de Física (20). Así, a veces, en lugar de sal escribieron NaCl y en lugar de agua escribieron H₂O.

Los de Biología (6) mencionaron más ejemplos erróneos de compuestos (Na, complejo vitamínico, medicamentos, petróleo, vinagre y agua salada), los de Química dieron tres (cobre metálico, amalgama y petróleo) y los de Física dos (agua salada y petróleo).

Con respecto al por qué el ejemplo propuesto era considerado un compuesto (Tabla 15), el argumento más destacado entre los tres grupos de alumnos fue que implicaba la unión de elementos, aún cuando más marcadamente en los de Biología (35.4%) y mucho menos en los de Física (11.7%). Entre los de Química fue de 26.4%.

Con porcentajes bajos los tres grupos coincidieron también en que:

- se unen átomos
- no se puede separar por medios físicos
- sus constituyentes están unidos químicamente

Únicamente los estudiantes de Biología y los de Química mencionaron que tiene composición definida.

Los de Física y Química también citaron en común y con porcentajes similares que:

- sus componentes sólo se separan mediante métodos químicos
- ninguno de sus constituyentes conserva sus propiedades originales
- es la unión de moléculas (iguales).

En el caso de las justificaciones del por qué consideraron a los ejemplos de mezclas como tales (Tabla 16), fue menos marcada su dispersión que en las correspondientes a las de los compuestos. Las dos más citadas fueron: una, relacionada con que sus constituyentes se pueden separar fácilmente por métodos físicos (B – 14.8%, F – 29.2%, Q – 16.9%) y, la otra, que es la unión de dos o varios compuestos (B – 25.9%, F – 5.8%, Q – 33.9%). Como puede observarse en estos datos, en ambos casos, existe gran coincidencia de porcentajes entre los estudiantes de Biología y de Química.

Es interesante mencionar que algunos alumnos consideran que los componentes de una mezcla se separan mediante métodos físicos, es decir, fácilmente según ellos, a diferencia de los de un compuesto que expresan se separan por métodos químicos, es decir, para ellos en forma más complicada.

PREGUNTA 9. UN ÁTOMO DE UN ELEMENTO TIENE 27 PROTONES, 32 NEUTRONES Y 27 ELECTRONES, ¿QUÉ SE FORMARÍA SI SE ALTERA EL NÚMERO DE SUS:

- PROTONES?
- NEUTRONES?
- ELECTRONES?

Tabla 17 Consecuencias de la alteración del número de partículas del átomo

La alteración del número de protones provoca la formación de:

	BIOLOGÍA	FÍSICA	QUÍMICA
Un átomo de otro elemento	5.5%	49%	24.5%
Un ión	12.9%	27.4%	30.1%
Un isótopo	3.7%	-----	13.2%
No respondieron	62.9%	17.6%	24.5%

La alteración del número de neutrones provoca la formación de:

	BIOLOGÍA	FÍSICA	QUÍMICA
Un isótopo	7.4%	54.9%	26.4%
Un átomo de otro elemento	3.7%	5.8%	5.6%
No pasa nada	9.2%	1.9%	16.9%
No respondieron	68.5%	27.8%	39.6%

La alteración del número de electrones provoca la formación de:

	BIOLOGÍA	FÍSICA	QUÍMICA
Un ión	27.7%	73%	62.2%
Un átomo de otro elemento	5.5%	-----	3.7%
Un isótopo	1.8%	1.9%	-----
No respondieron	53.7%	21%	24.5%

Los porcentajes no suman 100% pues sólo se reportan las preguntas con los cuatro porcentajes más altos para cada inciso de la pregunta correspondiente.

COMENTARIOS

Esta pregunta es la que menos respondieron los alumnos de las tres carreras, sobre todo los de Biología (con porcentajes superiores al 53%), y en el caso de los neutrones (más del 27.8 %). Los estudiantes de Física muestran más aceptable conocimiento de los cambios que experimenta un átomo tras alterarse la cantidad de sus partículas subatómicas; los de Biología son los que exhiben más desconocimiento.

Las respuestas de los alumnos indican que los electrones son las partículas subatómicas, de las cuales se conoce más adecuadamente el papel que desempeñan dentro de la estructura del átomo. Por el contrario, es deficiente el correspondiente a protones y neutrones.

PREGUNTA 10: ¿CREES QUE EXISTAN DIFERENCIAS ENTRE LOS ÁTOMOS DE DISTINTOS ELEMENTOS QUÍMICOS? ¿CUÁLES?

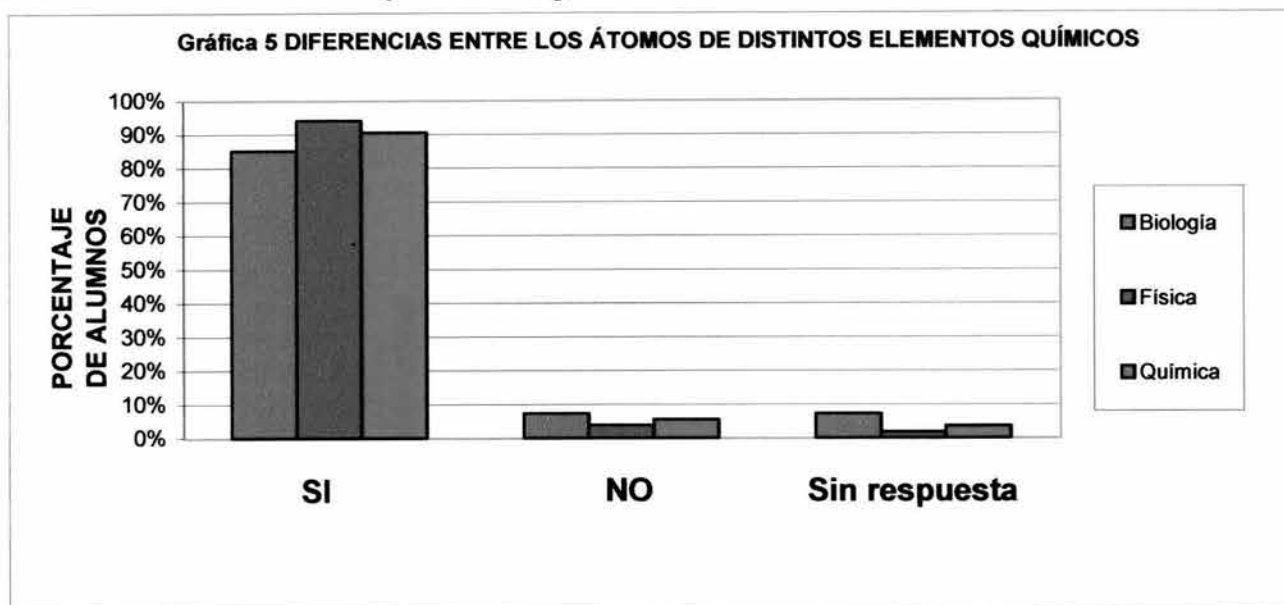


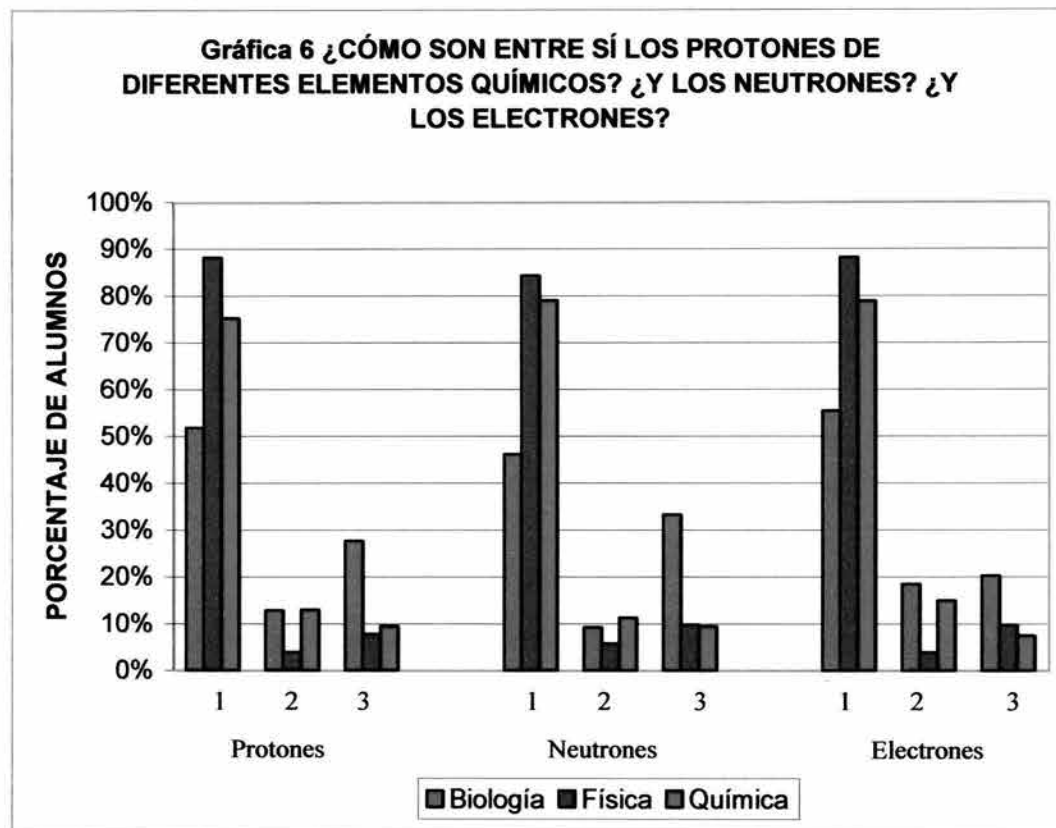
Tabla 18 Principales argumentos manifestados por los alumnos para justificar la diferencia entre átomos de distintos elementos químicos

ARGUMENTOS	BIOLOGÍA	FÍSICA	QUÍMICA
El número de electrones	64.8%	60.7%	35.8%
El número de protones	48.1%	52.9%	43.3%
El número de neutrones	40.7%	45%	30.1%
Su masa (peso) atómica	20.3%	25.4%	22.6%
Su tamaño	11.1%	-----	26.4%
Su carga eléctrica	9.2%	-----	-----
Su reactividad	9.2%	9.8%	-----
Su número atómico	-----	13.7%	-----
Sus propiedades físicas y químicas	-----	11.7%	13.2%
Sus niveles de energía	-----	11.7%	13.2%
Su electronegatividad	-----	-----	13.2%

COMENTARIOS

En forma destacada y bastante semejante, los alumnos de las tres carreras (B – 85.1%, F – 94.1%, Q – 90.5%) estuvieron de acuerdo en que los átomos de un elemento son diferentes a los de otro (Gráfica 5). Los estudiantes de las tres carreras (en forma más destacada los de Biología y de Física) hicieron referencia al número de partículas subatómicas (electrones, protones y neutrones) como principal distintivo entre los átomos de los diferentes elementos. Sin embargo, los estudiantes de Química y los de Física, citaron en forma importante algunas de sus propiedades y características como su tamaño, reactividad, niveles de energía y electronegatividad (Tabla 18).

PREGUNTA 11: ¿CÓMO SON ENTRE SÍ LOS PROTONES DE DIFERENTES ELEMENTOS QUÍMICOS? ¿Y LOS NEUTRONES? ¿Y LOS ELECTRONES?



1 – Iguales 2 – Diferentes 3 – Sin respuesta

COMENTARIOS

La Gráfica 6 permite suponer que son los estudiantes de Física los que poseen un más acentuado conocimiento de la composición y estructura de las tres principales partículas subatómicas (alrededor del 90% de los alumnos) y que son los de Biología los que más las desconocen (entre el 50% y el 60%). El porcentaje de los de Química fluctúa entre el 75% y el 80%.

Confirmando el comentario acerca de los estudiantes de Biología, ellos fueron los que en forma más acentuada (alrededor del 20% al 35%) no respondieron la pregunta.

PREGUNTA 12: ¿CÓMO DESCRIBIRÍAS UN ENLACE QUÍMICO?

Tabla 19 Descripción de enlace químico

	BIOLOGÍA	FÍSICA	QUÍMICA
Unión (interacción) de átomos	25.9%	29.4%	28.3%
de elementos	27.7%	15.6%	13.2%
de electrones	20.3%	29.4%	22.6%
de moléculas	3.7%	9.8%	9.4%
de cargas	3.7%		5.6%
de compuestos	1.8%		1.8%
de sustancias	1.8%		
de orbitales			13.2%
de iones			3.7%
de densidades electrónicas			3.7%
de cuerpos			1.8%
de especies químicas			1.8%
Como fuerzas	11.1%	9.8%	9.2%
Como energía	1.8%		7.4%
Sin respuesta	5.5%	5.8%	5.6%

COMENTARIOS

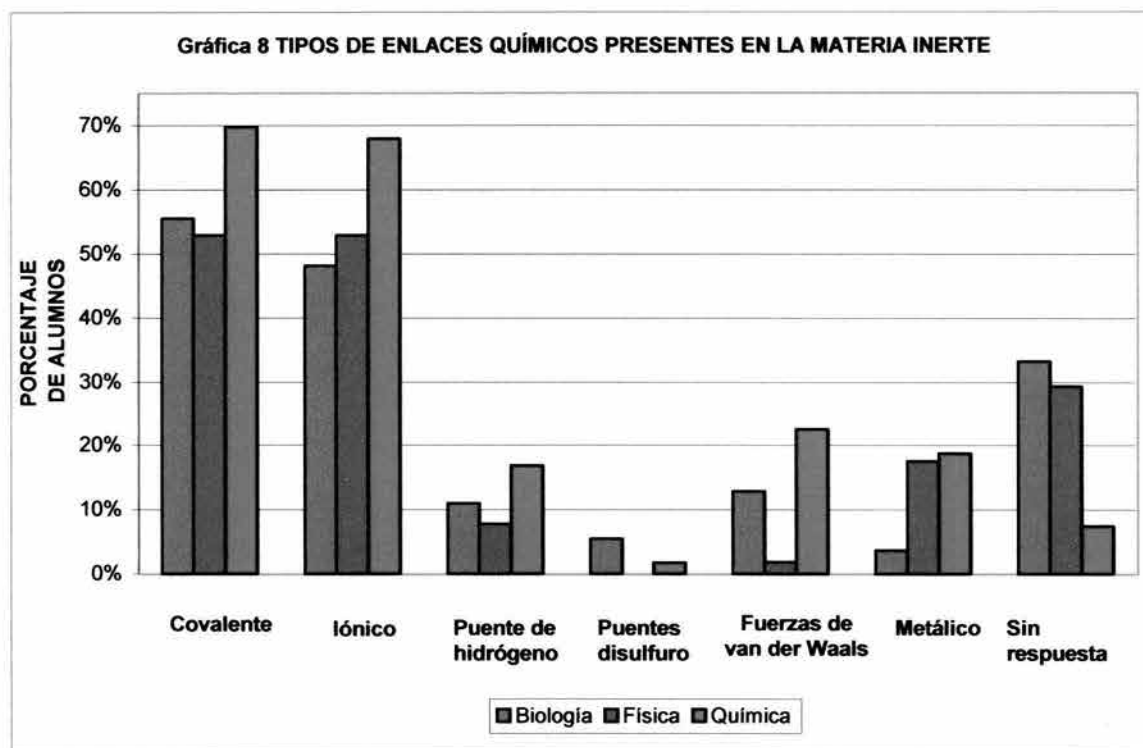
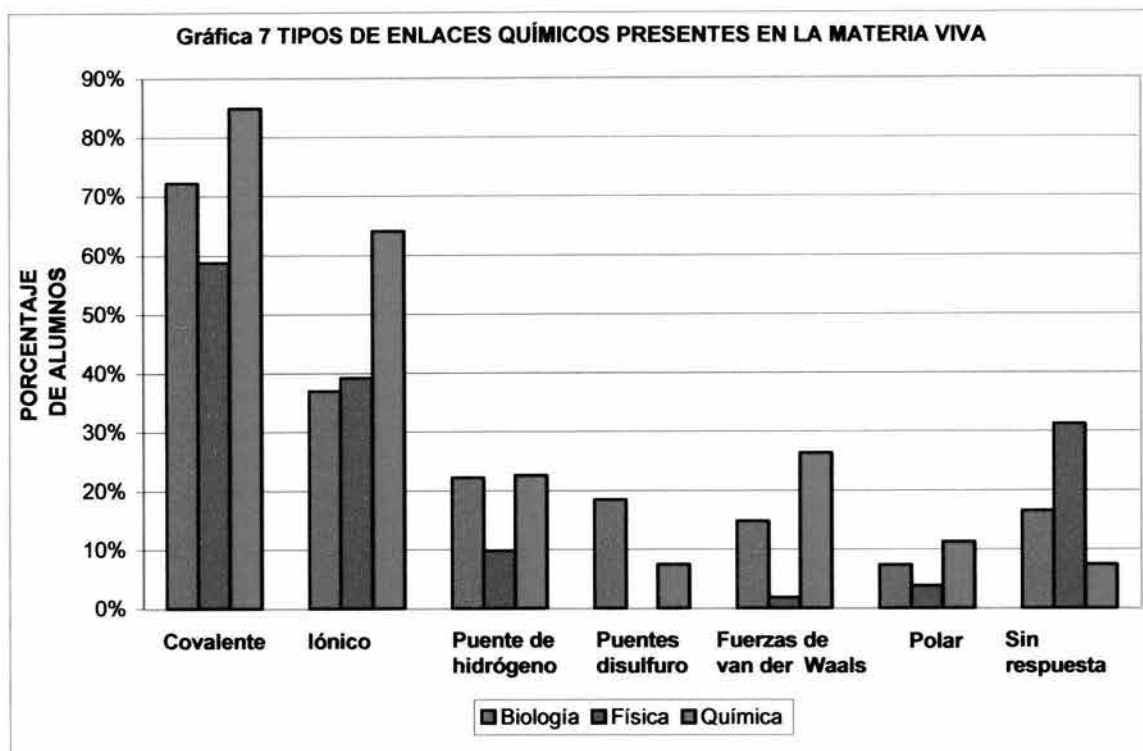
En la Tabla 19 se presentan en forma simplificada las principales descripciones de enlace químico que elaboraron los alumnos.

Aún cuando con diferente porcentaje, los de las tres carreras hicieron referencia a que el enlace químico consiste en la unión o interacción de átomos, elementos, electrones o moléculas, o bien, a que son fuerzas. Sin embargo, los estudiantes de Biología se refirieron más a átomos y elementos, mientras que los de Física y los de Química a átomos y electrones. Los alumnos de las tres carreras emplearon en forma sobresaliente el término unión (B – 79%, F – 73%, Q – 79%) con respecto al de interacción (B – 21%, F – 27%, Q – 21%). El término unión parece reflejar la idea de que los átomos, electrones, etcétera, simplemente se juntan, en cambio, el de interacción permite suponer una acción más estrecha entre ellos.

No es sorprendente que los estudiantes de Química hayan sido los que mencionaron mayor variedad de descripciones, pues el tema de enlace químico es uno de los más tratados en el aula en el desarrollo de su plan de estudios. En cambio, los de Física fueron los que menos opciones citaron. Los alumnos de Física también emplearon términos como compartición (seis de ellos), transferencia, intercambio, amarre y fusión. Los de Química, a su vez, citaron traslape (seis de ellos), ganancia/pérdida y compartición.

Al analizar las respuestas de los alumnos se advirtió la deficiente comprensión con respecto a que un enlace químico no se establece únicamente a nivel interatómico (entre iones y átomos), sino que también existen interacciones electrostáticas entre moléculas.

PREGUNTA 13: ¿QUÉ TIPOS DE ENLACES QUÍMICOS ESTÁN PRESENTES EN LA MATERIA VIVA?



COMENTARIOS

A partir de las gráficas 7 y 8 se percibe que los estudiantes de las tres carreras, sobresaliendo los de Química, consideran que tanto en las sustancias que conforman a los seres vivos como en las que constituyen a los cuerpos y objetos inertes, los enlaces que en general predominan son los covalentes y los iónicos, sobre otros tipos de enlace.

Con relación a los seres vivos, los estudiantes mencionaron con mayor frecuencia los enlaces covalentes (B – 72.2%, F – 58.8% y Q – 84.9%), mientras que con respecto a los cuerpos y objetos inertes, consideraron igualmente preponderantes los enlaces covalentes y los iónicos (B – 55.5% y 48.1%; F – 52.9% en ambos casos; Q – 69.8% y 67.3%).

En el caso de los seres vivos, los estudiantes de Biología y de Química también citaron en porcentajes considerables a los puentes de hidrógeno (B – 29.6% y Q – 22.6%), fuerzas de van der Waals (B – 14.8% y Q – 26.4%) y puentes disulfuro (B – 18.5% y Q – 7.5%). Los porcentajes en el caso de los estudiantes de Física son insignificantes (9.8%, 3.9% y 0%, respectivamente). El enlace polar se mencionó en pocas ocasiones (B – 7.4%, F – 3.9% y Q – 11.3%).

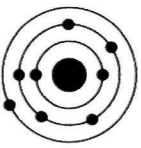
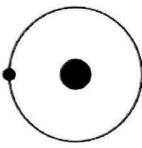
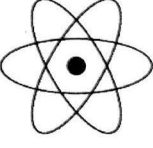

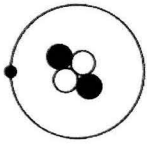
Acerca de los cuerpos y objetos inertes, además de enlaces iónicos y covalentes, los estudiantes de las tres carreras (sobresaliendo los de Química) citaron: Metálico (B – 3.7%, F – 17.6% y Q – 18.8%), puentes de hidrógeno (B – 11.1%, F – 7.8% y Q – 18.8%) y fuerzas de van der Waals (B – 12.9%, F – 1.9% y Q – 22.6%). Únicamente los estudiantes de Biología y Química mencionaron en bajos porcentajes los puentes disulfuro (7.4% y 3.7%, respectivamente).

Exclusivamente con respecto a los seres vivos se mencionó el enlace polar y únicamente con relación a los cuerpos y objetos inertes se hizo referencia al enlace metálico.

Confirmando los comentarios relativos a la pregunta 12, en general se percibe más desconocimiento del enlace químico entre los estudiantes de Física, siendo además los que más omitieron responder la pregunta.

PREGUNTA 14: REPRESENTA UN ÁTOMO E INDICA SUS COMPONENTES CON NOMBRES

Tabla 20a Representaciones del átomo elaboradas por los estudiantes

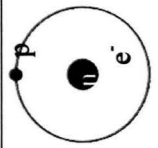
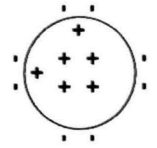
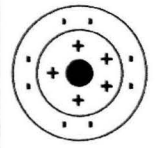
REPRESENTACIÓN	BIOLOGÍA (N = 54)		FÍSICA (N = 51)		QUÍMICA (N = 53)	
	ORDEN	PORCENTAJE	ORDEN	PORCENTAJE	ORDEN	PORCENTAJE
Modelo del sistema solar cuántico (Bohr) 	1°	35.1%	2°	19.6%	1°	24.5%
Modelo del átomo de hidrógeno según el modelo de Bohr 	3°	14.8%	1°	27.4%	2°	22.6%
Modelo del sistema solar clásico (Rutherford) 	2°	16.6%	5°	11.7%	3°	11.3%
Modelo de la nube electrónica 	6°	1.8%	3°	17.6%	4°	9.4%
Modelo del He ⁺ según Bohr con protones y neutrones evidentes 	4°	7.4%	4°	13.7%	6°	1.8%

PREGUNTA 14

Tabla 20b Representaciones del átomo elaboradas por los estudiantes

REPRESENTACIÓN	BIOLOGÍA (N = 54)		FÍSICA (N = 51)		QUÍMICA (N = 53)	
	ORDEN	PORCENTAJE	ORDEN	PORCENTAJE	ORDEN	PORCENTAJE
Modelo de los orbitales (Schrödinger)	7°	1.8%	6°	5.8%	5°	5.6%
Modelo sin órbitas definidas	5°	7.4%			8°	1.8%

Un estudiante de Biología y dos de Química indicaron representaciones inadecuadas:

	1.8%		
			1.8%
			1.8%

COMENTARIOS

Como se puede observar en las Tablas 20a y 20b, con respecto a las respuestas de los alumnos a esta pregunta, es importante aclarar que considerando sus semejanzas, las representaciones en el caso de Biología se clasificaron en ocho modelos, en el de Física en seis y en el de Química en nueve.

La representación del átomo a la que, en general, más recurrieron los estudiantes fue a la correspondiente al Modelo del sistema solar cuántico de Bohr (B – 35.1%, F – 19.6% y Q – 24.5%; ocupando el primer lugar entre los estudiantes de Biología y Química) y luego a la del Modelo del átomo de hidrógeno según el modelo de Bohr mencionado (B – 14.8%, F – 27.4% y Q – 22.6%; que fue el más representado por los estudiantes de Física).

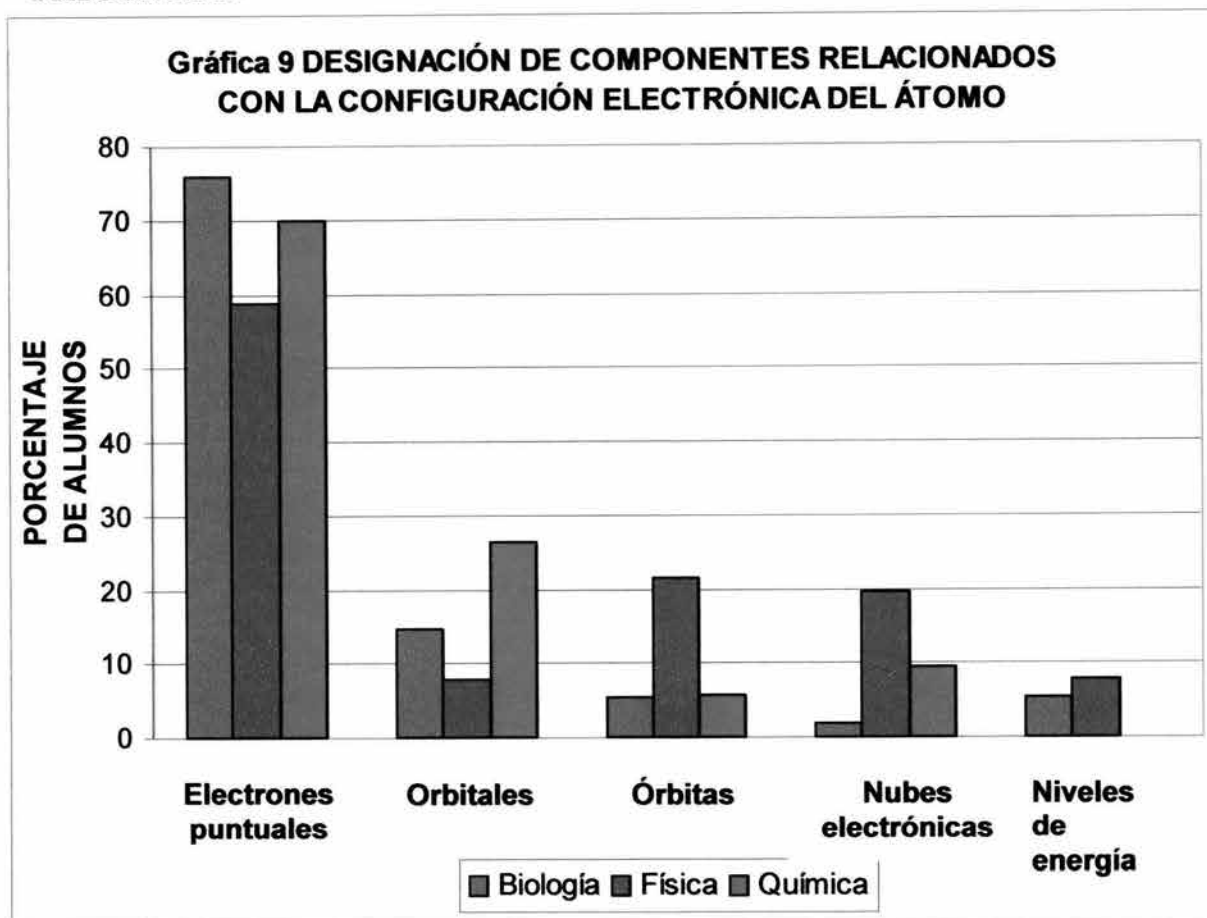
Considerando las tres representaciones con mayor porcentaje de los estudiantes de las tres carreras, aún cuando en diferente orden, hubo coincidencia entre los de Biología y Química, al elegir los dos modelos mencionados y el del sistema solar clásico de Rutherford. Para los de Física no fue tan importante el último, refiriéndose en tercer lugar al de la nube electrónica.

En general, los alumnos de las tres carreras designaron y ubicaron adecuadamente a protones y neutrones en el centro del átomo, ya sea mencionando que constituían al núcleo u omitiéndolo.

Es conveniente citar que en forma sumamente destacada, aún más en el caso de Química, los alumnos delimitaron al núcleo del átomo con una línea (circular), como si fuese una membrana o bolsa que contuviese a los protones y los neutrones. Únicamente no lo hicieron dos de los 49 alumnos de Química, seis de los 50 de Biología y siete de los 48 de Física, que respondieron la pregunta.

De todos los alumnos únicamente uno de Física mencionó otras partículas subatómicas (quarks, gluones y positrones), aparte de protones, neutrones y electrones.

PREGUNTA 14



COMENTARIOS

Como se observa en la Gráfica 9, con respecto a la representación de la configuración electrónica del átomo, los estudiantes de las tres carreras (sobre todo los de Biología) se refirieron principalmente a los electrones (B – 75.9%, F – 58.8%, Q – 69.8%).

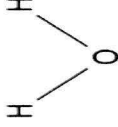
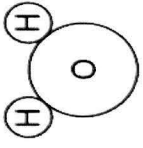
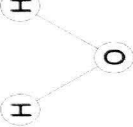

Además, los estudiantes de Biología citaron fundamentalmente los orbitales (14.8%); los de Física a las órbitas (21.5%) y a las nubes electrónicas (19.6%); los de Química a los orbitales (26.4%) y a las nubes electrónicas (9.4%).

Aparte de los términos presentados en la gráfica, los estudiantes de Biología mencionaron: canal, zona de incertidumbre electrónica y posibilidad de encontrar electrones; los de Química: nivel cuántico, capa de valencia, estados energéticos, densidad electrónica y nube energética; los de Física ningún otro.

Por último, con respecto al Modelo del sistema solar cuántico de Bohr, que fue el más representado, los estudiantes de Biología (5 de 19) y de Química (7 de 13) se destacaron al referirse a orbitales, mientras que los de Física a órbitas (7 de 14).

PREGUNTA 15: REPRESENTA UNA MOLÉCULA DE AGUA

Tabla 21a Representaciones de la molécula de agua que pueden considerarse correctas.

REPRESENTACIÓN	BIOLOGÍA (N = 54) Representaciones = 69		FÍSICA (N = 51) Representaciones = 70		QUÍMICA (N = 53) Representaciones = 61	
	ORDEN	PORCENTAJE DE ALUMNOS	ORDEN	PORCENTAJE DE ALUMNOS	ORDEN	PORCENTAJE DE ALUMNOS
Modelo de Lewis con geometría molecular correcta, sin electrones solitarios 	1°	33.3%	4°	15.6%	2°	20.7%
Fórmula de composición elemental H_2O	2°	22.2%	1°	27.4%	3°	13.2%
Modelo de esferas tangentes 	3°	16.6%	2°	25.4%	4°	9.4%
Modelo de Lewis con distinción de núcleos 	4°	12.9%	3°	21.5%	4°	9.4%
Modelo de Lewis con geometría molecular incorrecta, sin electrones solitarios 	6°	1.8%	5°	5.8%	6°	3.7%

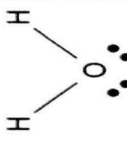
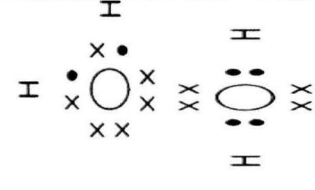
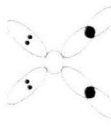
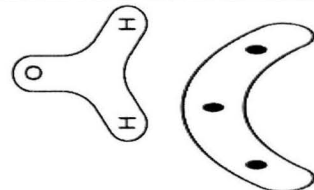
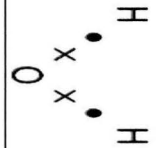
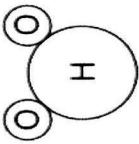
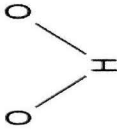
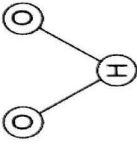
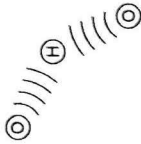
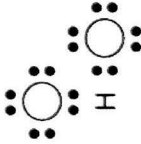
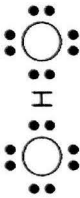
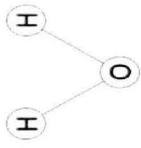
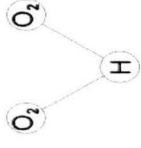

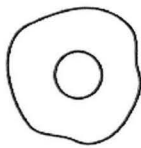
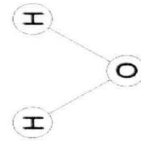

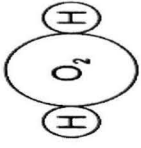
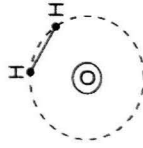
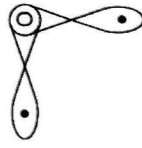
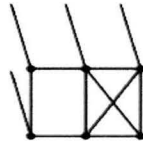
Modelo de Lewis con geometría molecular correcta				1°	45.2%
Modelo de Lewis con puntos y cruces para representar los electrones		7.4%	5°		1.9%
Modelo de unión valencia					9.4%
Modelo de orbitales moleculares		3.7%			1.9%
Modelo de Lewis con puntos y cruces para representar los electrones, sin electrones solitarios explícitos					1.8%

Tabla 21b Representaciones incorrectas de la molécula de agua, por inversión de la relación 2:1 del hidrógeno y oxígeno.

REPRESENTACIÓN	BIOLOGÍA (N = 54)		FÍSICA (N = 51)		QUÍMICA (N = 53)	
	PORCENTAJE DE ALUMNOS		PORCENTAJE DE ALUMNOS		PORCENTAJE DE ALUMNOS	
	3.7%		7.8%			
	7.4%		1.9%			
	1.8%		7.8%			
	3.7%					
			3.9%			
	1.8%					

			1.8%
---	--	--	------

Tabla 21c Otras representaciones erróneas o confusas de la molécula del agua.

<p style="text-align: center;">BIOLOGÍA</p>	 <p style="text-align: center;">5.5%</p>	 <p style="text-align: center;">1.8%</p>	 <p style="text-align: center;">1.8%</p>	 <p style="text-align: center;">1.8%</p>
	 <p style="text-align: center;">3.9%</p>	 <p style="text-align: center;">1.9%</p>	 <p style="text-align: center;">1.9%</p>	 <p style="text-align: center;">1.9%</p>
	 <p style="text-align: center;">1.9%</p>	<p style="text-align: center;">H^2O</p> <p style="text-align: center;">1.9%</p>	 <p style="text-align: center;">1.9%</p>	
	<p style="text-align: center;">FÍSICA</p>			

COMENTARIOS

En la Tabla 21a se observa que el número de representaciones de la molécula por carrera (B – 69, F – 70, Q – 61) es mayor que el de los alumnos (B – 54, F – 51, Q – 53), pues hubo casos en que un mismo estudiante la representó en dos o tres formas diferentes, aún cuando en otros casos, algunos no respondieron la pregunta.

En el caso de las tres carreras, y sin diferencia significativa, prácticamente todas las representaciones de los alumnos (sin considerar la relativa a la fórmula del agua, H₂O) presentan geometría molecular correcta.

Como se muestra en la Tabla 21a, las tres modalidades más frecuentemente elaboradas por los estudiantes de cada carrera fueron:

- | | | |
|--------------------|---|---------|
| - Biología: | - Modelo de Lewis con geometría molecular correcta, sin electrones solitarios | (33.3%) |
| | - Fórmula de composición elemental | (22.2%) |
| | - Modelo de esferas tangentes | (16.6%) |
| - Física: | - Fórmula de composición elemental | (27.4%) |
| | - Modelo de esferas tangentes | (25.4%) |
| | - Modelo de Lewis con distinción de núcleos | (21.5%) |
| - Química: | - Modelo de Lewis con geometría molecular correcta | (45.2%) |
| | - Modelo de Lewis con geometría molecular correcta, sin electrones solitarios | (20.7%) |
| | - Fórmula de composición elemental | (13.2%) |

Considerando las cuatro modalidades con mayor porcentaje entre los estudiantes de cada carrera, en general, se observa mayor semejanza entre los alumnos de Biología y de Física con respecto a los de Química, quienes indicaron con bastante frecuencia (45.2%) el Modelo de Lewis con geometría molecular correcta.

Tabla 22 Principales categorías generales de representación de la molécula de agua

CATEGORÍA DE REPRESENTACIÓN	BIOLOGÍA (69)	FÍSICA (70)	QUÍMICA (61)	PROMEDIO
Mediante los símbolos del hidrógeno y oxígeno, con enlaces	57.14%	48.47%	31.08%	45.56%
Mediante los símbolos del hidrógeno y oxígeno, sin enlaces	16.98%	23.87%	8.20%	16.35%
Mediante la especificación de la estructura electrónica del hidrógeno y oxígeno	7.23%	4.25%	49.21%	20.23%
Mediante la fórmula de composición elemental del compuesto	17.45%	21.51%	11.51%	16.82%
TOTAL	98.8%*	98.1%*	100%	

*Se anuló una representación

La Tabla 22 muestra el porcentaje que corresponde a cada una de las cuatro principales categorías en que se agrupó la totalidad de las representaciones de los alumnos.

Destaca que en forma significativa, más los de Biología (17.45%) y de Física (21.51%), que los de Química (11.51%), varios estudiantes hayan representado a la molécula de agua mediante su fórmula de composición elemental.

En la Tabla 23 se presentan los porcentajes de las representaciones de la molécula de agua, que pueden considerarse correctas, o en su caso, incorrectas o confusas.

Tabla 23 Porcentajes de representaciones correctas e incorrectas de la molécula de agua

REPRESENTACIONES	BIOLOGÍA (69)	FÍSICA (70)	QUÍMICA (61)
Correctas	76.8%	72.8%	98.2%
Incorrectas: por la inversión de la relación 2:1 entre hidrógeno y oxígeno	14.4%	15.7%	1.8%
Incorrectas: por otras razones o confusas	8.6%	11.4%	0 %

Debido a que los estudiantes de Química fueron los que más adecuadamente representaron la molécula (98.2%), fueron ellos los que menos dispersaron las modalidades de su representación (B – 16, F – 18 y Q – 9).

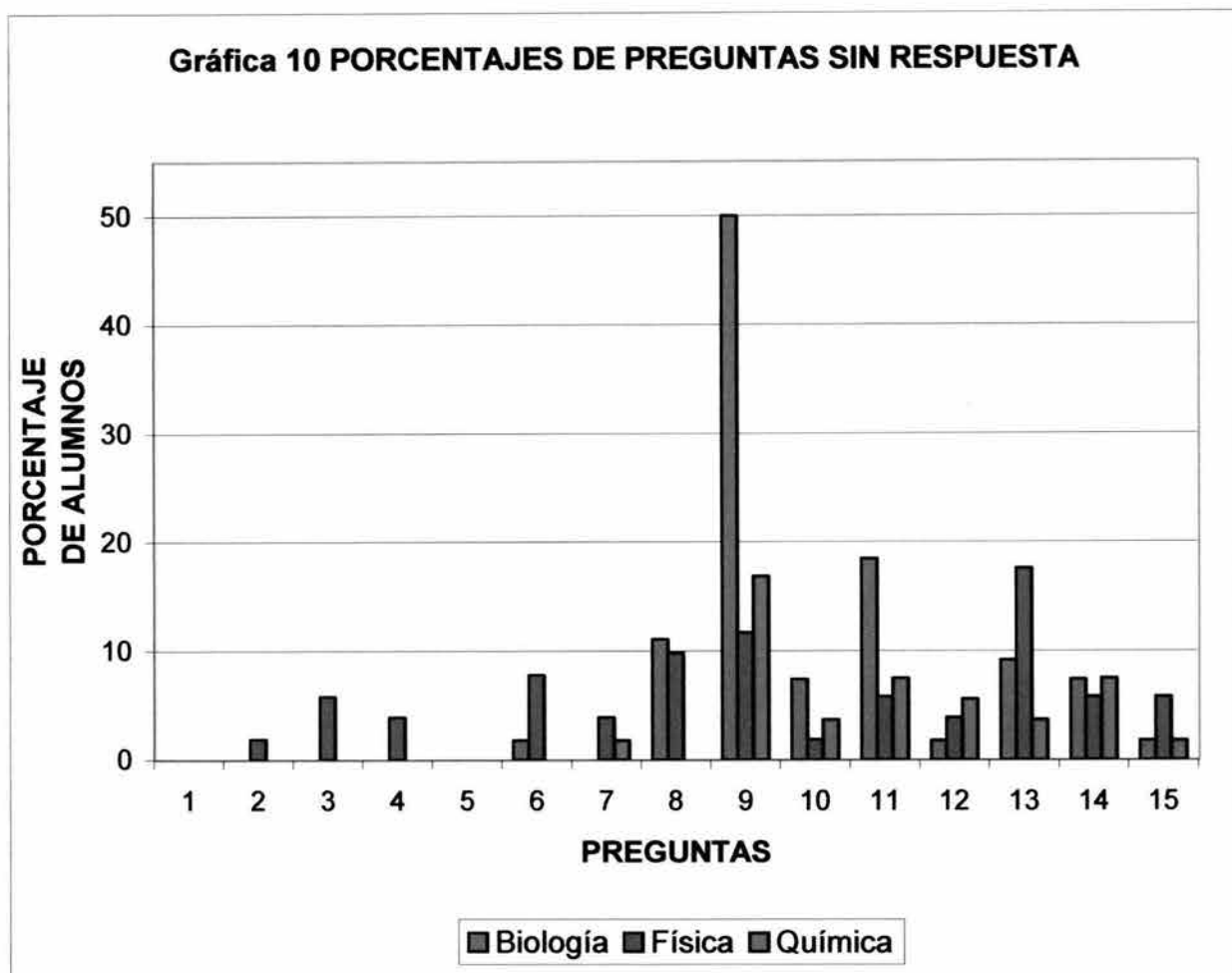
Es conveniente mencionar que el 14.4% de los estudiantes de Biología y el 15.7% de los de Física, invirtieron la relación 2:1 entre los átomos de hidrógeno y oxígeno que constituyen a la molécula de agua; únicamente un alumno de Química hizo lo mismo.

TABLA 24 Preguntas sin respuesta de los alumnos

PREGUNTA	BIOLOGÍA (N = 54)		FÍSICA (N = 51)		QUÍMICA (N = 53)		PORCENTAJE GLOBAL (N = 158)	
1	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
2	0	0%	1	1.9%	0	0%	1	0.6%
3	0	0%	3	5.8%	0	0%	3	1.8%
4	0	0%	2	3.9%	0	0%	2	1.2%
5	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
6	1	1.8%	4	7.8%	0	0%	5	3.1%
7	0	0%	2	3.9%	1	1.8%	3	1.8%
8	6	11.1%	5	9.8%	0	0%	11	6.9%
9	27	50%	6	11.7%	9	16.9%	42	26.5%
10	4	7.4%	1	1.9%	2	3.7%	7	4.4%
11	10	18.5%	3	5.8%	4	7.5%	17	10.7%
12	1	1.8%	2	3.9%	3	5.6%	6	3.7%
13	5	9.2%	9	17.6%	2	3.7%	16	10.1%
14	4	7.4%	3	5.8%	4	7.5%	11	6.9%
15	1	1.8%	3	5.8%	1	1.8%	5	3.1%
TOTAL DE PREGUNTAS	810		765		795			
TOTAL DE PREGUNTAS SIN RESPUESTA	59		44		26			
PORCENTAJE DE PREGUNTAS SIN RESPUESTA	7.2%		5.7%		3.2%			

Como se puede observar en la Tabla 24, en general, los estudiantes de Química (96.8%) fueron los que más respondieron el total de las preguntas del cuestionario, luego los de Física (94.3%) y posteriormente los de Biología (92.8%).

La pregunta 9 relacionada con las consecuencias de la alteración de la cantidad de partículas subatómicas, fue la de menor porcentaje global de respuestas (26.5%), correspondiendo al 50% de los alumnos de Biología, 11.7% de Física y 16.9% de Química.



COMENTARIOS

La misma Tabla 24 y la Gráfica 10 muestran como los alumnos de Física fueron los que en porcentajes más elevados no respondieron las preguntas 3, 4, 6, 7, y 13 del cuestionario, relacionadas con la denominada materia viva, siendo sumamente bajos y semejantes los correspondientes a los estudiantes de Biología y Química.

Los de Biología se destacaron en cuanto a no contestar en forma notoria las preguntas 9, 10 y 11, relacionadas con la composición y estructura de los átomos.

Con relación a la pregunta 8 acerca de las características de compuestos y mezclas, únicamente alumnos de Biología (11.1%) y de Física (9.8%) no contestaron la pregunta.

Aunque no en forma notable, los estudiantes de Biología (7.4%) y de Química (7.5%) fueron los que menos representaron al átomo; mientras que los de Física (5.8%) a la molécula de agua.

5.2.1 PRINCIPALES PROBLEMAS CONCEPTUALES DETECTADOS EN LOS ALUMNOS DE LAS CARRERAS DE BIOLOGÍA, FÍSICA Y QUÍMICA DE LA UNAM

Durante la elaboración de este estudio se identificaron numerosos y diversos problemas conceptuales que expresaron los alumnos de las tres carreras. A continuación, mediante la Tabla 25, se presentan los más frecuentes:

Tabla 25. Problemas conceptuales más destacados en los alumnos de las tres carreras	CARRERAS		
	B	F	Q
<p>• Todo lo que existe en el universo está formado de materia. Comentario Puede manifestar la creencia de que incluso fenómenos y procesos naturales como el calor son materia (Lee y otros, 1993, citan que estudiantes de bachillerato mencionan “moléculas de calor”). Además, en el universo también existen ideas, sentimientos, etcétera, que no consisten de materia.</p>		X	
<p>• Los seres vivos se vinculan exclusivamente con materia, compuestos o moléculas orgánicas; los objetos y cuerpos inertes con los inorgánicos. Comentario El agua, sustancia inorgánica más abundante de las células, constituye del 70 al 90% del peso de la célula. En el cuerpo humano se encuentran sales inorgánicas como el cloruro de sodio e incluso ácidos inorgánicos como el ácido clorhídrico que forma parte del jugo gástrico.</p>	X		
<p>• Las moléculas forman elementos, sustancias, compuestos, etcétera. Comentario Existe confusión de lo que es una sustancia, la cual comprende tanto a elementos como a compuestos, los cuales poseen composición constante o definida y propiedades distintivas.</p>	X		
<p>• La materia presenta estructura molecular. Comentario Reiterando el comentario anterior, no todas las sustancias presentan estructura molecular.</p>	X	X	
<p>• Los átomos forman moléculas al unirse Comentario No es adecuada esta generalización pues los átomos al unirse forman también redes iónicas, metálicas y covalentes.</p>			X

	B	F	Q
<ul style="list-style-type: none"> • Una molécula es la unión de dos o más elementos Comentario Es conveniente expresar que una molécula se puede visualizar en términos de fragmentos mononucleares. 			X
<ul style="list-style-type: none"> • Marcada tendencia de los alumnos al referirse acerca de la materia a nivel macroscópico. Comentario Lo anterior puede sugerir desconocimiento o incomprensión de diversos fenómenos y procesos a nivel macroscópico, es decir, de átomos, iones y moléculas. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • Mezclas y coloides no forman parte de los seres vivos. Comentario Los coloides son mezclas heterogéneas. Los tejidos vivos contienen muchas clases de coloides, algunos involucrados por ejemplo en el movimiento de los protozoarios y otras células. La sangre es una mezcla de diversos componentes como plasma, eritrocitos, leucocitos y plaquetas. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • A la sal común se le considera una molécula. Comentario La sal común (cloruro de sodio) conforma una red iónica, no presenta estructura molecular. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • La madera, la leche, el aire y el petróleo son compuestos, sustancias. Comentario No son sustancias (pues no son compuestos, ni elementos), las cuales poseen composición constante o definida y propiedades distintivas. Son materiales constituidos por varias sustancias. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • Un metal es un compuesto Comentario El término metal puede referirse a un elemento o una aleación (que es una mezcla), quizás incluso a un átomo; en todo caso, convendría hacer alusión a un material metálico. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • No existe diferencia entre la composición de la materia que constituye a los seres vivos y la de los cuerpos y materiales inertes, pues en ambas pueden encontrarse los mismos elementos. Comentario Únicamente alrededor de la cuarta parte de los elementos químicos forman parte de la composición de los seres vivos. 	X		X

	B	F	Q
<ul style="list-style-type: none"> • No hay diferencia entre la composición de la materia que constituye a los seres vivos y la de los cuerpos y materiales inertes, pues ambas están constituidas por átomos. <p>Comentario Aunque efectivamente toda la materia está constituida por átomos, no es conveniente esta generalización pues entonces no se podría diferenciar la materia de diversos materiales y sustancias, formasen parte o no parte de los seres vivos.</p>		X	
<ul style="list-style-type: none"> • Los constituyentes de un compuesto pueden separarse por medios físicos. <p>Comentario No se pueden separar por medios físicos. Lo que se puede es obtener las sustancias elementales correspondientes mediante reacciones químicas.</p>	X		
<ul style="list-style-type: none"> • Una mezcla es la unión de compuestos <p>Comentario Una mezcla son dos o más materiales mezclados o un material que contiene dos o más sustancias.</p>	X		X
<ul style="list-style-type: none"> • Una mezcla se forma por interacción molecular <p>Comentario No todas las sustancias que se combinan para formar una mezcla tienen estructura molecular, tal es el caso del cloruro de sodio (la sal común).</p>	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • Los protones de distintos elementos químicos son diferentes entre sí. Igualmente los neutrones y electrones <p>Comentario No hay diferencia entre un protón y otro; lo mismo en el caso de neutrones y electrones. Un elemento se diferencia de otro por el número de protones que constituyen a cada uno de sus átomos.</p>	X		X
<ul style="list-style-type: none"> • La alteración del número de protones de un átomo provoca la formación de un ión <p>Comentario Lo que se forma es un ión de otro elemento.</p>	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • La alteración del número de protones de un átomo provoca la formación de un isótopo. <p>Comentario Como se expresó en el comentario anterior lo que se forma es un ión de otro elemento.</p>	X	X	X

	B	F	Q
<ul style="list-style-type: none"> • La alteración del número de neutrones provoca la formación de un átomo de otro elemento. Comentario Por esta alteración se forman isótopos del elemento correspondiente. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • La alteración del número de neutrones no provoca nada. Comentario Incorrecto, se forman isótopos de los respectivos elementos. 	X		X
<ul style="list-style-type: none"> • La alteración del número de electrones provoca la formación de un átomo de otro elemento. Comentario La alteración del número de electrones provoca la formación de iones. 	X		
<ul style="list-style-type: none"> • Enlace químico es la interacción de elementos. Comentario Enlace químico hace referencia a la interacción entre núcleos y electrones de una misma molécula o a la interacción entre iones o átomos metálicos vecinos. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • Al dibujar al átomo se delimita al núcleo con una línea (circular) como si fuese una membrana o bolsa que contuviese a protones y neutrones. Comentario No existe esa bolsa. Sólo es una representación usualmente empleada en los libros de texto y frecuentemente por los profesores. 	X	X	X
<ul style="list-style-type: none"> • Representación incorrecta de la molécula de agua. Comentario Principalmente consiste en la inversión de la relación 2:1 entre los átomos de hidrógeno y oxígeno. 	X	X	

De los 26 problemas conceptuales mencionados, los estudiantes de Biología citaron 21, los de Química 17 y los de Física 15.

Lo anterior permite suponer que los estudiantes de la carrera de Física son los que poseen un conocimiento más adecuado de la composición y estructura de la materia, considerando las preguntas del cuestionario aplicado a los alumnos.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

6.1 PRINCIPALES HALLAZGOS COMPARATIVOS OBTENIDOS CON RELACIÓN AL CONOCIMIENTO DEL TEMA DEPENDIENDO DE LA CARRERA DE LOS ALUMNOS

Con el propósito de facilitar el análisis de la influencia que representan las disciplinas científicas a través de la carrera que cursan los estudiantes, se elaboró la Tabla 26 en la cual se presentan las coincidencias más destacadas en cuanto a términos, conceptos y enunciados, expresados por los estudiantes de las tres carreras.

Es importante mencionar que no se indican aquellas en que estuvieron de acuerdo los alumnos de las tres carreras, sino únicamente aquellas en que coincidieron los estudiantes de dos de ellas, con el objetivo de ubicar semejanzas y diferencias en cuanto al enfoque que se manifiesta en cuanto al conocimiento de la composición y estructura de la materia.

Tabla 26. Coincidencias más destacadas en términos, conceptos y enunciados, mencionados por los estudiantes de las tres carreras	B	F	Q
1) En ocho (energía, masa, átomo, molécula, electrón, protón, elemento, transformación) de los diez términos que espontáneamente y con más frecuencia se mencionaron relacionados con Materia.	X		X
2) En los enunciados:			
a) La materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma.	X		X
b) La materia se puede transformar en energía y viceversa.	X		X
c) La masa y el volumen determinan la densidad.	X		X
d) Los átomos están constituidos de protones, neutrones y electrones.	X	X	
e) La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma.	X	X	
f) La materia se encuentra en los estados sólido, líquido y gaseoso.		X	X
g) La materia posee masa.		X	X
3) En mayor cantidad de enunciados y más extensos.		X	X
4) Al indicar a:			
a) Moléculas y átomos como las partes más pequeñas de diversos objetos, sustancias y materiales inertes.	X		X
b) Células y átomos como las partes más pequeñas de los seres vivos.	X		X
5) En el mayor conocimiento de que moléculas, compuestos, coloides y mezclas forman parte de los seres vivos.	X		X
6) En el mayor desconocimiento de que petróleo, aire y leche son mezclas.	X	X	
7) Al manifestar que: No existe diferencia entre la composición química de la materia que constituye a los seres vivos y la que forma a los cuerpos y materiales inertes, pues en ambas pueden encontrarse los mismos elementos.	X		X

	B	F	Q
8) Al expresar que:			
a) Un compuesto se caracteriza por la interacción química de sus componentes.	X	X	
b) Un compuesto se caracteriza por su composición definida.	X		X
c) Un compuesto se caracteriza por la unión de moléculas iguales.		X	X
d) Ninguno de los constituyentes de un compuesto conserva sus propiedades originales.		X	X
e) Los constituyentes de un compuesto sólo se separan mediante métodos químicos.		X	X
f) La sal y el agua son ejemplos de compuestos.	X		X
9) En la escasa utilización de fórmulas para ejemplificar compuestos.	X	X	
10) Al proporcionar menor cantidad de ejemplos erróneos de compuestos.		X	X
11) Al citar que:			
a) Una mezcla es la unión de compuestos.	X		X
b) Cada uno de los componentes de una mezcla conserva sus características al unirse.	X	X	
c) El agua salada y el aire son ejemplos de mezclas.		X	X
d) Los constituyentes de una mezcla se pueden separar fácilmente por métodos físicos.	X		X
12) En el mayor desconocimiento del papel que desempeñan las partículas subatómicas en la estructura del átomo.	X		X
13) En que:			
a) El principal distintivo entre los átomos de los diferentes elementos es el número de sus partículas subatómicas.	X	X	
b) Las propiedades y características de los átomos como su tamaño, reactividad, niveles de energía y electronegatividad diferencian a los átomos de los diversos elementos químicos.		X	X
14) En el mayor conocimiento de la estructura de protones, neutrones y electrones.		X	X
15) En que:			
a) Enlace químico es la interacción de átomos y/o electrones		X	X
b) En que en los seres vivos, además de enlaces covalentes y iónicos, también están presentes puentes de hidrógeno, fuerzas de van der Waals y puentes disulfuro.	X		X
c) En que muestran mayor desconocimiento del enlace químico.	X	X	

	B	F	Q
16) En que:			
a) Representan al átomo principalmente mediante los modelos del sistema solar cuántico de Bohr, del átomo de hidrógeno según Bohr y del sistema solar clásico de Rutherford.	X		X
b) Hacen referencia principalmente a electrones y orbitales como componentes de la configuración electrónica de los átomos.	X		X
17) En la:			
a) Representación de la molécula de agua mediante su fórmula de composición elemental y el modelo de esferas tangentes.	X	X	
b) Representación incorrecta de la molécula de agua por la inversión de la relación 2:1 entre hidrógeno y oxígeno y por otras razones.	X	X	

COMENTARIOS

De las 37 coincidencias mencionadas en la Tabla 26, exclusivamente entre los estudiantes de Biología y Física en forma destacada se presentaron 10; entre los de Biología y Química, 16; y entre los de Física y Química, 11.

De ellas sobresalen las siguientes:

- 1) La elaboración de enunciados más extensos por parte de los alumnos de Física y Química
- 2) La coincidencia de los estudiantes de Biología con los de Química en aspectos relacionados con los seres vivos.
- 3) En la coincidencia de los alumnos de Química con los de Biología o con los de Física al tratarse de compuestos.
- 4) En el mayor desconocimiento del papel que desempeñan las partículas subatómicas en la estructura atómica y en las modalidades de representación del átomo, entre los estudiantes de Biología y Química.
- 5) En las modalidades de representación de la molécula de agua, incluso en varios casos en forma incorrecta por la inversión de la relación 2:1 entre hidrógeno y oxígeno, entre los alumnos de Biología y Física.

6.2 CONCLUSIONES ACERCA DEL TEMA INVESTIGADO

Con respecto al propósito fundamental de la elaboración de este estudio, el análisis de las respuestas de los alumnos únicamente permitió confirmar en forma parcial la influencia del campo disciplinario en cuanto al nivel de comprensión de la composición y estructura de la materia, tema indispensable en el estudio de diversas asignaturas que comprende el Mapa Curricular de las carreras de Biología, Física y Química de la UNAM.

La influencia de la disciplina se percibió, por ejemplo, en el caso de los estudiantes de:

Biología:

- Al elaborar enunciados cortos, con frecuencia vinculados con las funciones y procesos que se efectúan en los seres vivos y su mención de que la materia de que consisten los organismos vivos es más compleja que la que constituye a los materiales y cuerpos inertes.
- Al dar más ejemplos erróneos de compuestos, ejemplificando en su lugar a elementos y mezclas.
- Al exhibir más notorio desconocimiento del papel que desempeñan los protones, neutrones y electrones dentro de la estructura del átomo.
- Al referirse principalmente sólo a electrones como los componentes de la configuración electrónica del átomo.

Física:

- Al expresarse mediante más amplios enunciados y en mayor cantidad, con relación al concepto de materia, haciendo frecuentemente referencia a las características de la materia y a la energía involucrada en sus cambios.
- Al ser prácticamente los únicos que consideraron que los átomos consisten de otras partículas, además de protones, neutrones y electrones. Ellos mencionaron a quarks, leptones y otras partículas.
- Al considerar en mayor porcentaje al agua como un compuesto, sin considerar su estado físico. Los de Biología y Química en estado líquido la consideraron una sustancia y los de Biología como un cuerpo en estado sólido.
- Al poseer más aceptable conocimiento de los cambios que experimenta un elemento químico, tras alterarse la cantidad de las partículas de que consisten sus átomos.
- Al mostrar más desconocimiento con relación al enlace químico.
- Al citar a electrones, órbitas y nubes electrónicas con referencia a la configuración electrónica del átomo.
- Al recurrir en forma destacada a la fórmula de la composición elemental del agua para representar a la molécula de este compuesto.

Química:

- Al ser los que más se refirieron a la interacción de los diversos materiales y sustancias que conforman a la materia y a los enlaces que presentan.
- Al considerar en forma más notoria al petróleo, aire y leche como mezclas.
- Al ser los que más emplearon fórmulas al citar ejemplos de compuestos.
- Al relacionar más frecuentemente a las moléculas con el agua líquida, hielo y vapor de agua.

- Al considerar en forma más sobresaliente que tanto en la materia de que consisten los seres vivos como en la que constituye a cuerpos y materiales inertes, los enlaces covalente, iónico y fuerzas de Van der Waals, son los que predominan.
- Al citar a electrones y orbitales como componentes de la configuración electrónica del átomo.
- Al ser los que representaron correctamente la molécula de agua, salvo un estudiante, y más frecuentemente emplearon el modelo de Lewis con geometría molecular correcta, al hacerlo.

Como se ha manifestado en este estudio, el conocimiento de la composición y estructura de la materia es indispensable para la adecuada comprensión de numerosos y variados fenómenos biológicos, físicos y químicos. Por esta razón, es un tema central de los currícula de ciencias en los niveles de secundaria y bachillerato, así como en diversos semestres de carreras como las que cursan los estudiantes con los que se desarrolló la investigación que se reporta en este estudio, no sólo de México sino de todos los países. Uno de los obstáculos más importantes para entender los fenómenos citados es el deficiente e inapropiado conocimiento de conceptos como sustancia, elemento, compuesto, mezcla, átomo, molécula y enlace químico.

Sin embargo, durante la elaboración de este estudio se detectaron serios, numerosos y variados problemas conceptuales en los alumnos de las tres carreras, si se tiene en cuenta que las preguntas del cuestionario se plantearon para que con una formación básica adecuada en el tema, pudieran contestarlas sin recurrir a definiciones. Destacan:

- El profundo desconocimiento de los cambios que experimentan los elementos, tras alterarse la cantidad de los protones, neutrones o electrones de sus átomos.
- La marcada confusión que exhiben con respecto a si el enlace químico consiste en la unión o interacción de átomos, elementos, electrones, moléculas, cargas, compuestos, sustancias, orbitales, iones, cuerpos o densidades electrónicas.
- La deficiente comprensión con respecto a que un enlace químico no se establece únicamente a nivel interatómico (entre iones y átomos), sino que también existen interacciones electrostáticas entre moléculas.

Se detectó la inconveniencia de haber empleado en el cuestionario aplicado a los alumnos, los términos materia viva y materia inerte, pese a que en libros y artículos de revistas se hace referencia a ellas, por la confusión que pudo haber provocado en los estudiantes al responder las preguntas, aún cuando no la manifestaron textualmente. Hubiese sido más adecuado referirse en las preguntas a la materia de que consisten los seres vivos y a la que forma a los materiales y cuerpos inertes.

Llama la atención que aún a nivel universitario, algunos estudiantes relacionan estrechamente y en forma exclusiva, a compuestos orgánicos con los seres vivos, y a los compuestos inorgánicos con los materiales y cuerpos inertes.

Se percibió que los alumnos de las tres carreras frecuentemente expresaron que la materia está constituida por átomos, sin incluir a iones y moléculas.

Esta investigación permite suponer que aún después de varios años de instrucción en el tema, mayoritariamente los estudiantes siguen activando esquemas de interpretación macroscópicos y

que aquellos que utilizan esquemas de representación microscópicos, en muchos casos, manifiestan problemas conceptuales de diversos tipos, pese a que el concepto de partícula adquiere una importancia fundamental para la explicación causal de numerosos eventos y fenómenos que involucran un cambio, sea físico o químico.

Las respuestas de los alumnos exhiben que gran parte del conocimiento adquirido en el aula no es operacional en su vida cotidiana, ni ha sido incorporado a su cultura general. Lo anterior puede explicarse al considerar que aunque la composición y estructura de la materia debe enseñarse en tres niveles: macroscópico (sensorial), microscópico (atómico/molecular) y simbólico (fórmulas y ecuaciones), usualmente los maestros enfatizan el nivel simbólico y la solución de los problemas a expensas de los niveles de los fenómenos y de las partículas. Además, para explicar el tema a nivel microscópico se emplean simultáneamente diversos modelos atómicos y moleculares, que son abstractos, difíciles, alejados de la experiencia diaria y sin aclarar la relación entre modelo y realidad, lo cual provoca que para los estudiantes “un modelo sea la realidad”.

El docente universitario dentro del aula debe procurar conciliar dos posiciones opuestas que se tienen dentro del contexto de la ciencia: La hipótesis universalista y neutralista que postula que el lenguaje, el conocimiento y la actividad científica son independientes de la cultura, por lo que el conocimiento científico es el mismo en todo el mundo; y la hipótesis del relativismo lingüístico y cultural, que establece que el conocimiento científico siempre es dependiente de la cultura y que el entendimiento universal no es posible. En la práctica docente, el profesor se encuentra entre estos dos extremos, siendo un poco diferente en cada disciplina científica, por sus diferentes objetos de investigación, por ejemplo, con respecto a la energía nuclear y la radiactividad, en Física puede dársele énfasis al modelo explicativo del proceso de su generación y detección; en Biología a los daños anatómicos y fisiológicos que pueden provocar (como mutaciones); y, en Química al desarrollo y producción de sustancias (como radioisótopos), mediante las cuales se pueden contrarrestar esos daños, por lo menos parcialmente. Igualmente, valdría la pena reflexionar acerca de, por ejemplo, que evocación o imagen produce el término “núcleo” en un biólogo o en un químico, o bien, el término “plasma” en un físico o en un biólogo.

Sin embargo, ante el carácter sumamente complejo de algunas problemáticas como, por ejemplo, el conocimiento de la composición y estructura de la materia, el cual es un conocimiento básico estructural para la comprensión de diversos fenómenos y procesos biológicos, físicos y químicos, se debe buscar la coherencia y complementaridad entre los programas curriculares de diferentes especialidades en cada nivel, previendo las repeticiones que son indispensables para asegurar la asimilación de los conocimientos fundamentales, y si bien, puede ser útil abordar el mismo tema a partir de diferentes puntos de vista, es necesario abolir los dobles usos y entrecruzamientos indeseables, tanto entre los niveles sucesivos de la misma especialidad, como entre las diferentes enseñanzas de igual nivel.

Los profesores debemos abordar el aprendizaje como un proceso constructivo, de búsqueda de significados e interpretación, en lugar de reducir el aprendizaje a un proceso repetitivo de conocimientos, partiendo de que aprender ciencia debe ser por tanto una tarea de comparar y diferenciar modelos, no de adquirir saberes absolutos y verdaderos y que hay que aprender a convivir con la diversidad de perspectivas, con la relatividad de las teorías, con la existencia de interpretaciones múltiples y aprender a construir el propio punto de vista a partir de ellas.

Con el propósito de lograr que sus alumnos logren la comprensión de diversos conceptos científicos, tales como la composición y estructura de la materia, los profesores deben enfrentarse al reto de superar las restricciones que imponen los problemas conceptuales que mantienen sus alumnos y desarrollar una metodología adecuada para identificar las ideas de los alumnos y estrategias de enseñanza para favorecer el proceso de construcción del conocimiento por parte de sus alumnos. Ponerlo en práctica en el aula exige un notable esfuerzo por parte del profesor y probablemente una más apropiada selección y secuencia de contenidos.

Los maestros de nivel universidad frecuentemente se lamentan de que cuando sus alumnos comienzan sus estudios universitarios, presentan puntos de vista distorsionados de ciertas nociones científicas fundamentales, siendo preocupante que casi al finalizar su carrera, los estudiantes aún mantengan serios problemas conceptuales básicos acerca de la composición y estructura de la materia, por lo cual un motivo de esta investigación es proveer a los maestros con información que les sirva como apoyo para sus lecciones y trabajo tutorial.

El análisis de los programas de estudio de las tres carreras, permite percibir la gran cantidad y variedad de información que los estudiantes deben aprender, por lo que éstos con la finalidad de aprobar los cursos, tienden a memorizar datos, en lugar de comprenderlos. Por lo cual, los profesores deben jerarquizar los temas a enseñar y hacerlo en la secuencia apropiada para facilitar la comprensión por parte del alumno. El docente debe abandonar el énfasis desmesurado en datos y propiciar el desarrollo de la capacidad para la reflexión crítica y creativa. Los contenidos deben tener una congruencia general dentro de una estructura lógica de integración, para acabar con el divorcio entre niveles, grados y disciplinas.

Por último, es conveniente considerar como cada una de las grandes áreas del conocimiento científico aborda, en ocasiones, la misma cuestión a partir de diferentes puntos de vista, para que durante el proceso de enseñanza-aprendizaje que se desarrolla en el aula escolar, los alumnos adquieran el conocimiento adecuado desde conceptos afines, para que puedan aplicarlos indistintamente en problemas de cualquiera de las disciplinas científicas, considerando que actualmente con mayor frecuencia se desarrollan proyectos interdisciplinarios.

REFERENCIAS

- Abd – El – Khalick, F. and BouJaude, S. (1997). An exploratory study of the knowledge base for science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (7), 673 – 699.
- Abimbola, I.O. and Yaroch, W.L. (1993). “The problem of terminology in the study of student conception in science: a second look”. En: *The Proceeding of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Misconceptions Trust. Ithaca, N.Y.
- Abraham, M.R., Grzybowski, E.B., Renner, J.W. and Marek, E.A. (1992). Understanding and misunderstanding of eight grades of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (2), 105 – 120.
- 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.
- *Agendas Estadísticas de la UNAM 1998-1999, 1999 y 2002*. Dirección General de Estadística y Desarrollo Institucional. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Alvarado, C. (2000). *Identificación de problemas en conceptos químicos fundamentales en los libros de texto de biología de secundaria. Implicaciones para el aprendizaje*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.
- Andersson, B. (1990). Pupils’ conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53 – 85.
- Archer, M. (1990). “Resisting the revival of relativism”. En: M. Albrow and E. King (eds.). *Globalization, knowledge and society*. London: SAGE – ISA.
- 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.
- Ausubel, D.P., Novak, J.D., and Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Bachelard, G. (1973). *Epistemología*. Barcelona: Anagrama.
- Bachelard, G. (1982). *La formación del espíritu científico: Una contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. México: Editorial Siglo XXI.
- 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.

- Base de datos *IDEAS PREVIAS* (Desarrollo 2000-2002) (<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>).
- Becher, T. (1992). Las disciplinas y la identidad de los académicos. *Universidad Futura*, 4(10), UAM – A, México.
- Benarroch, B.A. (2000). El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 235 – 246.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B-S. and Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable?. *Journal of Chemical Education*, 63(1), 64 – 66.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B-S. and Silberstein, J. (July 1987). Students' visualisation of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 117 – 120.
- Bourdieu, P. (1989). "Sistemas de enseñanza y sistemas de pensamiento". En: José Gimeno Sacristán y Ángel Pérez Gómez. *La enseñanza: su teoría y su práctica*. Madrid: Akal.
- Brown, J.T., Collins, A. and Duguid, L. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Research*, 18, 32 – 43.
- Budin, G. (1999). *Language and knowledge in cultural studies. On the dynamics and complexity of their terminologies*. International Cultural Studies [En red]. Disponible en: http://www.inst.at/sudies/s_0101_e.htm (17/03/03).
- Bunge, M. (1981). *La ciencia, su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo XX.
- Campos, M.A. y Gaspar, S. (1996 a). "El modelo de análisis proposicional: un método para el estudio de la organización lógico – conceptual del conocimiento". En M.A. Campos y R. Ruiz (eds.), *El aula universitaria*, México, UNAM, 51 – 92.
- Campos, M.A. y Gaspar, S. (1996 b). "Las condiciones inmediatas de la construcción de conocimiento: un esquema para el análisis de la interacción en el aula". En M.A. Campos y R. Ruiz (eds.), *El aula universitaria*, México, UNAM, 27 - 50.
- Carlsen, W.S. (1991). Subject – matter knowledge and science teaching. A pragmatic perspective. *Advances in Research on Teaching*, 2, 115 – 143.
- Carlsen, W.S. (1992). Closing down the conversation: Discouraging student talk on unfamiliar science content. *Journal of Classroom Interaction*, 27(2), 15 – 21.
- Chiappetta, E.L., Fillman, D.A. and Sethna, G.H. (1991). A method to quantify major themes of scientific literacy in science textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 713 – 725.

- 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.
- Clark, B.R. (1991). *El sistema de educación superior. Una visión comparativa de la organización académica*. Nueva Imagen – Universidad Futura. UAM – México.
- Clark, B.R. (1997). *Universidad moderna: Espacios de investigación y docencia*. Colección: Problemas educativos de México. Coordinación de Humanidades. Miguel Ángel Porrúa. México.
- Cochran, J.P. (1997). What's 'common' in a common core: How course structure shapes disciplinary knowledge. *Journal of Classroom Interaction*, 32 (2), 45 – 55.
- Coll, C. (1996). Constructivismo y educación escolar: ni hablamos siempre de lo mismo ni lo hacemos siempre desde la misma perspectiva epistemológica. *Anuario de Psicología*, 69 (2), 153 – 179.
- Contreras D., J. (1990). “La didáctica y los procesos de enseñanza – aprendizaje”. En: *Enseñanza, currículum y profesorado*. Madrid: Akal.
- Cros, D., Chastrette, M., and Fayol, M. (1988). Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education*, 10 (3), 331 – 336.
- Cunningham, C.M. and Helms, J.V. (1998). Sociology of science as a means to a more authentic, inclusive science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 35 (5), 483 – 499.
- 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.
- Díaz, E. y Heler, M. (1989) *El conocimiento científico: Hacia una visión crítica de la ciencia*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Díaz Barriga A., F. y Hernández, R, G. (1998). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista*. México: Mc. Graw-Hill Interamericana.
- Eltinge, E.M., and Roberts, C.W. (1993). Linguistic content analysis: A method to measure science and inquiry in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (1), 65 – 83.
- Erickson, F. (1989). “Métodos cualitativos de investigación sobre la enseñanza”. En Wittrock, M. C. *La investigación de la enseñanza II. Métodos cualitativos y de observación*. Barcelona, Paidós – M.E.C.
- Feyerabend, P.K. (1974). *Contra el método*. Barcelona: Ariel.

- Fredericksen, C. (1983). "Inference in preschool children's conversations a cognitive perspective". En J. Green y C. Wallat. *Etnography and language in educational settings*, Norwood (N.J.): Ablex.
- Gabel, D.L., Samuel, K.V. and Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of the matter. *Journal of Chemical Educational*, 64 (8), 695 – 697.
- Gabel, D.L. (1989). Let us go back to nature study. *Journal of Chemical Education*, 66 (9), 727 – 729.
- Gabel, D. L. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70 (3), 193 – 194.
- Geertz, C. (1989). *La interpretación de las culturas*. Barcelona: Gedisa.
- Gilbert, J.K. (1998). Models in explanations, part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83 – 97.
- Gillespie, R.J. (1997). Reforming the general chemistry textbooks. *Journal of Chemical Education*, 74 (5), 484 – 485.
- Glazman, N.R. (2001). *Evaluación y exclusión en la enseñanza universitaria*. México: Paidós Educador.
- 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.
- Grediaga K., R. (1999). *Profesión académica, disciplinas y organizaciones. Procesos de socialización y sus efectos en las actividades y resultados de los académicos mexicanos*. Tesis Doctoral, El Colegio de México, México.
- 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.
- Grossman, P.L, Wilson, S.M. and Shulman, L.S. (1989). "Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching". En: H.C. Reynolds (ed.), *Knowledge base for beginning teaching*. New York: Pergammon Press.
- *Guía de Carreras UNAM 2002*. Dirección General de Orientación Vocacional. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- 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.

- Haidar, A.H. (1997). Prospective chemistry teachers' conceptions of the conservation of matter and related concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (2), 181 – 197.
- Harrison, A.G. and Treagust, D.F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80 (5), 509 – 534.
- Hogan, K. and Fischerkeller, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 941 – 970.
- Horwood, R.H. (1988). Explanation and description in science teaching. *Science Education*, 72 (1), 41 – 49.
- Janiuk, R.M. (1993). The process of learning chemistry. A Review of the Studies. *Journal of Chemical Education*, 70 (10), 828 – 829.
- Jensen, W.B. (1998). Logic, history, and the chemistry textbooks. Part 1. Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 75 (6), 679 – 687.
- Kelly, G.J., Carlsen, W.S. and Cunningham, C.M. (1993). Science education in sociocultural context: Perspective from the sociology of science. *Science Education*, 77(2), 207 – 220.
- Kelly, G.J. and Chen, C. (1999). The sound of music: constructing science as sociocultural practice through oral and written discourse. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (8), 883 – 915.
- Kelly, G.J. and Chen, C., Prothero, W. (2000). The epistemological framing of a discipline: Writing science in university oceanography. *Journal of Research in Science Teaching*, 37 (7), 691 – 718.
- Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. México: Santillana.
- Knorr – Cetina, K. (1999). *Epistemic cultures. How the science make knowledge*. Cambridge, Mass. E.E.U.U.: Harvard University Press.
- Krnel, D., Watson, R. and Glazar, S.A. (1998). Survey and research related to the development of the concept of “matter”. *International Journal Science Education*, 20(3), 257 – 289.
- Kucuradi, I. and Cohen R.S. eds. (1995). *The concept of knowledge*. The Ankara Seminar. Boston in the Philosophy of Science. Kluwer Academic Publishers.
- Kuhn, T.S. (1987). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: FCE.

- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Lawson, A.E. and Weser, J. (1990). The rejection of nonscientific beliefs about life: Effects of instruction and reasoning skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (6), 589 – 606.
- Lazarowitz, R. and Penso, S. (1992). High school students' difficulties in learning biology concepts. *Journal of Biological Education*, 26 (3), 215 – 223.
- 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.
- Lemke, J. (1987). Social semiotics and science education. *The American Journal of Semiotics*, 5 (2), 217 – 232.
- Lemke, J. (1990). *Talking science*. New York: Ablex.
- López, V., S.J. (1993). Mejorando la efectividad instruccional del texto educativo en ciencias: Primeros resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 137 – 148.
- 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.
- Marín, N. and Benarroch, A. (1994). A comparative study of piagetian and constructivist work on conception in science. *International Journal of Science Education*, 16 (1), 1 – 15.
- Martín del Pozo, R. (2001). Prospective teachers' ideas about the relationships between concepts describing the composition of matter. *International Journal of Science Education*, 23(4), 353 – 271.
- Moje, E.B. (1995). Talking about science: An interpretation of the effects of teacher talk in a high school science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (4), 349 – 371.
- 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.
- Mondelo, A.M., Martínez, L.C. y García, B.S. (1998). Criterios que utilizan los alumnos universitarios de primer ciclo para definir ser vivo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (3), 399 – 408.
- 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.

- 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.
- Nakhleh, M.B. (1992). Why some students don't learn Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191 – 195.
- Noh, T. and Scharman, L.C. (1997). Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on student's conceptions and problem-solving ability. *Journal of Research in Science Teaching*, 34 (2), 199 – 217.
- 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.
- Novick, S. and Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187 – 196.
- Olivé, L. (1995). *Racionalidad Epistémica*. Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía. Editorial Trotta. Consejo Superior de las Investigaciones Científicas. Madrid.
- Peeck, J. (1993). Increasing pictures effects in learning from illustrated text. *Learning and Instruction*, (3), 227 – 238.
- Pérez Gómez, A. (1978). *Epistemología y Educación*. Salamanca: Ed. Sígueme.
- Piaget, J. y García, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Editorial Siglo XXI.
- *Plan de Estudios de la Carrera de Biología*. Aprobado por el Consejo Académico del Área de Ciencias Biológicas y de la Salud el 25 de marzo de 1996. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 1998.
- Popper, K.R. (1985). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Potter, E.F. and Rosser, S.V. (1992). Factors in life science textbooks that may deter girl's interest in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 29 (7), 669 – 686.
- Pozo, J.I. (1999). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (2000). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- 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.

- Roth, W.- M. and Lucas, K.B. (1997). From “truth” to “invented reality”: A discourse analysis of high school physics students’ talk about scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 145 – 179.
- Roundy, W. (1989). What is an element? *Journal of Chemical Education*, 66(9), 729 – 730.
- Russell, B. (1969). *La perspectiva científica*. Barcelona: Ariel.
- Santelices, C., L. (1990). La comprensión de lectura en textos de ciencias naturales. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 59 – 64.
- 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.
- Sarramona, J. (1990). *Tecnología Educativa: Una valoración crítica*. Barcelona: CEAC.
- Serres, M. (ed.) (1991). *Historia de las ciencias*. Madrid: Cátedra.
- Schibeci, R.A. and Hickey, R. (2000). Is in natural or processed? Elementary school teachers and conception about materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1154 – 1170.
- Schwab, J.J. (1962). The concept of the structure of a discipline. *The Educational Record*, 43, 197 – 205.
- Shulman, L.S. (1986). “Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza: una perspectiva contemporánea”. En Wittrock, Mc C. (dir.) *La investigación de la enseñanza I*: Barcelona: Paidós.
- 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.
- 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.
- Storey, R.D. (1990). Textbooks errors & misconceptions in Biology: Cell structure. *The American Biology Teacher*, 52 (4), 213 – 218.
- Strike, K. and Posner, G.J. (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press.
- Strike, K. and Posner, G.J. (1992). *A revisionist theory of conceptual change*. En R.A. Duchdl y R.J. Hamilton (Eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology and educational practice*. Albany, New York: State Universtity of New York Press.

- Stucke, A. and Gannaway, S.P. (1996). New literature suggests that we don't have to teach everything in the textbooks. *Journal of Chemical Education*, 73 (8), 773 – 775.
- Taber, K. and Watts, M. (1996). The secret life of the chemical bond: Students' anthropomorphic and animistic reference to bonding. *International Journal of Science Education*, 18 (5), 557 – 568.
- Tamir, P. and Zohar, A. (1991). Anthropomorphism and teleology in reasoning about biological phenomena. *Science Education*, 75(1), 57 – 67.
- Thiele, R.B. and Treagust, D.F. (1995). Analogies in chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*, 17 (6), 783 – 795.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Treagust, D.F. (1988). Development and use of diagnostic test to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10(2), 159 – 169.
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic and molecular structure in chemical education. A critical analysis from various perspectives of science education. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 922 – 925.
- Vázquez, A. (1990). Concepciones alternativas en Física y Química de Bachillerato: Una metodología diagnóstica. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 251 – 258.
- 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.
- Villoro, L. (1982). *Creer, saber, conocer*. México: Siglo Veintiuno Editores.
- Von Cube, F. (1981). *La ciencia de la educación*. Barcelona: CEAC.
- Vosniadou, S. (1996). Towards a revised cognitive psychology for new advances in learning and instruction. *Learning and Instruction*, 6(2), 95 – 109.
- Vygotsky, L.S. (1962). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wandersee, J.H., (1988). Ways students read texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (1), 69 – 84.
- Woolgar, S. (1991). *Ciencia: Abriendo la caja negra*. Barcelona: Antrhopos.

COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA

INVESTIGACIÓN CON ESTUDIANTES DE DISCIPLINAS CIENTÍFICAS EN LA
UNAM

Facultad: _____
Carrera: _____ Grupo: _____

PREGUNTA 1: Enlista diez conceptos que estén relacionados con el concepto
MATERIA

CONCEPTOS.

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____
- 4) _____
- 5) _____
- 6) _____
- 7) _____
- 8) _____
- 9) _____
- 10) _____

PREGUNTA 2: Construye enunciados sobre cualquier tema (la naturaleza, el universo, etc.)
en los que incluyas uno o más de los conceptos que indicaste en la pregunta 1.
DEBES MENCIONAR CADA UNO DE LOS 10 CONCEPTOS

PREGUNTA 3: ¿Cuál es la parte más pequeña de que están compuestos los siguientes objetos, sustancias y materiales?

árbol	_____	gas butano	_____
aire	_____	piedra	_____
agua potable	_____	manzana	_____
ser humano	_____	leche	_____

PREGUNTA 4: De las opciones que se dan, marca con una cruz aquellas que creas que forman parte de los seres vivos

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> protones | <input type="checkbox"/> coloides |
| <input type="checkbox"/> moléculas | <input type="checkbox"/> electrones |
| <input type="checkbox"/> compuestos | <input type="checkbox"/> mezclas |
| <input type="checkbox"/> átomos | <input type="checkbox"/> suspensiones |

PREGUNTA 5: Indica en la siguiente tabla, cuáles consideras:

Cuerpos (cu)	Mezclas (me)	Átomos (at)
Sustancias (su)	Partículas (pa)	Compuestos (co)
Elementos (el)	Moléculas (mo)	

	cu	su	el	me	pa	mo	at	co
Trozo de sal común								
Leche								
Aire								
Petróleo								
Núcleo atómico								
Oxígeno								
Metal								
Gas								
Líquido								
Sólido								
Agua líquida								
Hielo								
Vapor de agua								
Electrón								
Madera								

PREGUNTA 6: Considerando su composición química ¿Existe diferencia entre la materia viva y la materia inerte? ¿Por qué?

PREGUNTA 7: ¿Crees que un mismo elemento químico puede constituir tanto a la materia viva como a la inerte? Justifica tu respuesta

PREGUNTA 8: Menciona un ejemplo de un compuesto y uno de una mezcla y explica por qué los clasificas así

PREGUNTA 9: Un átomo de un elemento tiene 27 protones, 32 neutrones y 27 electrones, ¿qué se formaría si se alterara el número de sus

- a) protones? _____
- b) neutrones? _____
- c) electrones? _____

PREGUNTA 10: ¿Crees que existan diferencias entre los átomos de distintos elementos químicos? ¿Cuáles?

PREGUNTA 11: ¿Cómo son entre sí los protones de diferentes elementos químicos?

¿Y los neutrones? _____

¿Y los electrones? _____.

PREGUNTA 12: ¿Cómo describirías un enlace químico?

PREGUNTA 13: ¿Qué tipos de enlaces químicos están presentes en:

a) la materia viva? _____

b) la materia inerte? _____

PREGUNTA 14: Representa un átomo e indica sus componentes con nombres

PREGUNTA 15: Representa una molécula de agua

GRACIAS POR TU COLABORACIÓN

ALGUNOS CONCEPTOS CENTRALES DE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

Materia. Es todo aquello que tiene masa y ocupa un lugar en el espacio. Este término engloba todos los cuerpos, objetos y seres que existen en la naturaleza.

Materiales. De lo que están hechos los objetos, los seres y los cuerpos. Son sistemas de materia de aspecto homogéneo. Un determinado material puede estar formado por uno o varios constituyentes.

Sistemas de materia. En una primera instancia se pueden distinguir tres grandes sistemas de materia: *mezclas heterogéneas*, *mezclas homogéneas* y *sustancias*.

Mezclas heterogéneas. Son sistemas de materia en los que *se distinguen a simple vista dos o más materiales* (de ahí su aspecto heterogéneo). Por ejemplo: madera y petróleo, madera y oro, agua y oro, etcétera.

Mezclas homogéneas. Son sistemas de materia en los que *no se distingue a simple vista que esté formado por dos o más constituyentes*. Hay dos grandes tipos de mezclas homogéneas: las *disoluciones* y los *coloides*.

En las **disoluciones**, partículas de una o más sustancias se dispersan entre las partículas de otra sustancia. Se dice que la mezcla se da a *escala subnanoscópica* porque el tamaño de las partículas es menor a una milésima de micra, es decir, menor a un nanómetro. Son ejemplos de disoluciones el bronce, el agua de mar, el tequila, una gaseosa, el aire, etcétera.

En cambio en los **coloides**, enormes cúmulos de partículas de una o varias sustancias son los que se dispersan entre las partículas de la otra sustancia. Como estos cúmulos pueden llegar a tener un tamaño del orden de las micras, se dice que la mezcla se da a *escala microscópica*. Son ejemplos de coloides: el rubí, el cemento, el humo, una gelatina, la leche, la niebla, las palomitas de maíz, la crema batida, etcétera.

Sustancias. Sistemas de materia de aspecto homogéneo *de un solo constituyente*. Cada sustancia posee un conjunto de propiedades específicas que la distinguen de las demás sustancias. Son los constituyentes finales de las mezclas. Consisten de unas pequeñas partículas llamadas *iones*, *moléculas* o *átomos*. Las propiedades macroscópicas de las sustancias son consecuencia de la estructura interna y de las interacciones de sus partículas. Se tienen registradas más de 23 millones de sustancias¹. Por ejemplo, oxígeno, dióxido de carbono, mercurio, agua, oro, azúcar, sal común, diamante, etcétera.

Partículas químicas. Son las pequeñas unidades que integran a una sustancia. Son muy pequeñas y muy ligeras. Tanto que en unos cuantos gramos de cualquier sustancia hay del orden de un cuatrillón de partículas. Están constituidas por un cierto número de núcleos (con carga eléctrica positiva) interactuando con un cierto número de electrones (con carga eléctrica negativa). Pueden ser **iones** (partículas cargadas mono o polinucleares), **moléculas** (partículas

¹ <http://www.cas.org/>

polinucleares neutras) o **átomos** (partículas mononucleares neutras). Hay un poco más de 100 tipos diferentes de átomos según el número de protones en sus respectivos núcleos. A los diferentes tipos de átomos se les llama *elementos*. Los iones y las moléculas se describen en función del número y del tipo de elementos que contienen.

Partículas químicas (átomos, moléculas e iones)

		Mononucleares			
Neutras		Átomos	Iones mononucleares	Cargadas	
		Moléculas	Iones polinucleares		
		Polinucleares			

Núcleos. Son la parte positiva de las partículas químicas. Concentran la mayor parte de la masa de las partículas que constituyen. Están formados por protones (con carga positiva) y neutrones (sin carga).

Electrones. Son la parte negativa de las partículas químicas. No se puede saber ni su forma, ni su tamaño, ni su localización precisa, ni cómo se mueven. Se distribuyen por capas alrededor de los núcleos. Ocupan regiones inmensamente grandes (comparadas con el tamaño de los núcleos) llamadas *dominios electrónicos*. Los electrones más externos (los de la última capa) ocupan regiones tan grandes como las propias partículas químicas a que pertenecen.

Elementos. Se refiere a los diferentes tipos de átomos que existen en la naturaleza. Un elemento es *un tipo de átomo con un determinado número de protones*. Si dos átomos tienen el mismo número de protones en sus núcleos se dice que “son del mismo elemento”. Si, por el contrario, tienen diferente número de protones se dice que “son de distintos elementos”. Se conocen más de 100 elementos distintos. A cada uno se le ha dado un nombre y un símbolo químico (una abreviatura de una o dos letras) y se acostumbra agruparlos en la llamada Tabla Periódica de los Elementos. No son estables en forma aislada (excepto los de los gases nobles). Sólo se estabilizan como parte de moléculas o de redes (metálicas, iónicas o covalentes). Por eso, en las partículas polinucleares, *son fragmentos que contienen un solo núcleo y sus respectivos electrones*.

Sustancias elementales. Son aquellas cuyas partículas sólo contienen fragmentos del mismo tipo, es decir, están formadas por un solo *elemento* (un solo fragmento o el mismo repetido varias veces). Es imposible obtener dos o más sustancias a partir de una sustancia elemental ni siquiera bajo condiciones extremas como sería la aplicación de electricidad, calor, luz o sonido. Son, por definición, las sustancias más simples. Prácticamente no existen en la naturaleza. El hombre las ha obtenido a partir de la descomposición de las *sustancias compuestas*.

Sustancias compuestas. Son aquellas que en su estructura contienen fragmentos de distinto tipo, es decir, que contienen distintos *elementos*. Las sustancias compuestas se pueden descomponer en otras más simples mediante la aplicación de electricidad, calor, luz o sonido.

Interacciones químicas. Dada la naturaleza eléctrica de las partículas químicas, es decir, dado que están constituidas por núcleos positivos y electrones negativos, las interacciones químicas son simplemente la consecuencia o *el resultado de la interacción eléctrica entre sus partes*. Para su estudio, se consideran *cuatro casos límite*: el enlace covalente, el enlace metálico, el enlace

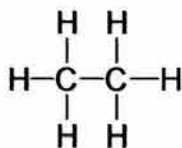
iónico y las interacciones intermoleculares. El *enlace covalente* describe la interacción entre núcleos y electrones dentro de una partícula. El *enlace metálico* describe la interacción entre átomos vecinos, el *enlace iónico* describe la interacción entre iones vecinos y, finalmente, las *interacciones intermoleculares* describen la interacción entre moléculas o átomos vecinos. Estas últimas, las intermoleculares son bastante más débiles que los enlaces covalente, metálico e iónico.

Enlace químico. Es la interacción eléctrica entre núcleos y electrones o entre partículas vecinas. Se acostumbra describir *los enlaces químicos reales* a partir de los casos límite mencionados anteriormente. Así, por ejemplo, el enlace entre los cloruros, Cl^- , y los cationes sodio, Na^+ , —en la sustancia “cloruro de sodio”— tiene 60 % de carácter iónico y 40 % de carácter covalente.

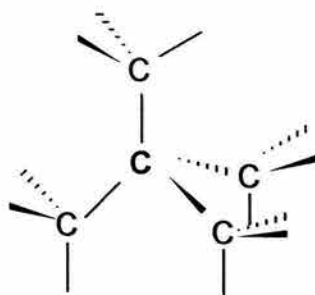
Enlace covalente. Es la interacción eléctrica de dos electrones y dos núcleos. Para describirlo adecuadamente se requiere de la Mecánica Cuántica. Se representa así:



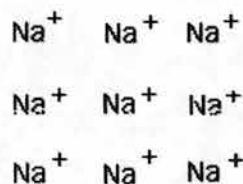
Las letras representan a los núcleos (junto con los electrones internos) de los elementos X y Y mientras que la raya representa a un par de electrones. Se dice que X y Y están enlazados mediante la compartición de un par de electrones. La palabra *covalente* se refiere específicamente a compartir electrones. De este modo, cualquier partícula polinuclear se puede representar como una cadena de enlaces covalentes. Por ejemplo, la molécula de etano, que contiene 2 núcleos de carbono y 6 de hidrógeno, se representa así:



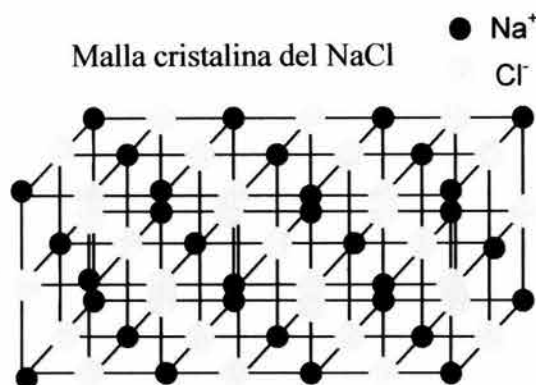
Y la red covalente del diamante, que contiene una enorme cantidad de núcleos, se representa así:



Enlace metálico. Es la interacción eléctrica de una cantidad enorme de núcleos y electrones. También es necesaria la aplicación de la Mecánica Cuántica para poderlo describir satisfactoriamente. Se puede representar mediante lo que se conoce como “núcleos inmersos en un mar de electrones”:



Enlace iónico. Es la interacción eléctrica entre un número muy grande de iones de carga opuesta. Se puede describir adecuadamente suponiendo que los iones son simplemente puntos con carga (sin masa ni volumen ni forma). Para una mejor descripción, se requeriría de la Mecánica Cuántica. Se puede representar como una red tridimensional donde todos los iones interactúan simultáneamente:



Interacciones intermoleculares. Es la interacción eléctrica entre partículas químicas vecinas. Son más débiles que los enlaces covalente, iónico y metálico. Para su descripción, los iones pueden modelarse como puntos cargados y las moléculas como dipolos eléctricos. Son las responsables de los estados físicos, de la solubilidad y del inicio de las reacciones químicas de materiales y sustancias.

Estructura de las sustancias. Se da a tres distintos niveles de detalle: *composición*, *conectividad* y *configuración*. **La composición** señala cuáles, cuántos elementos y en qué proporción se encuentran en cada sustancia. **La conectividad** muestra cómo están conectados los elementos en las partículas que integran a las sustancias. Y finalmente **la configuración** indica la disposición espacial de los fragmentos —y por lo tanto la figura en tres dimensiones— de las partículas que integran a las sustancias.

Reacciones químicas. Son procesos en los que se forman unas sustancias a partir de otras. En estos procesos no se conservan las sustancias² (al final siempre hay por lo menos una sustancia distinta de las originales). A nivel molecular, las partículas de las sustancias originales interactúan entre sí, intercambiando núcleos y electrones de tal modo que se forman nuevas partículas que obviamente son integrantes de otras sustancias diferentes a las originales. En las reacciones químicas, siempre se conservan los núcleos³ y los electrones. En consecuencia, la masa de las sustancias producidas (los productos) siempre es igual a la masa de las sustancias que reaccionaron originalmente (los reactivos). En resumen, en las reacciones químicas, *no se conservan las sustancias pero sí se conserva la masa.*

Materia en los seres vivos y en los cuerpos y materiales inertes. Los elementos que se encuentran en la naturaleza no se encuentran en todos los materiales y sustancias, ni en la misma proporción. Así, si se menciona al cuerpo humano como representativo de los seres vivos y a la corteza terrestre y al aire como ejemplos de cuerpos y materiales inertes, lo podemos constatar (Tabla 27):

Tabla 27 Abundancia natural de elementos en seres vivos y materiales inertes					
En el cuerpo humano		En la corteza terrestre		En el aire seco	
Oxígeno	65%	Oxígeno	45.5%	Nitrógeno	78%
Carbono	18%	Silicio	27.2%	Oxígeno	20.92%
Hidrógeno	10%	Aluminio	8.3%	Argón	0.9%
Nitrógeno	3%	Hierro	6.2%	Carbono	0.008%
Calcio	1.5%	Calcio	4.7%	Neón	0.001%
Otros	2.5%	Otros	8.1%	Otros	0.17%

En la corteza terrestre destaca la presencia de elementos metálicos, la cual disminuye en los seres vivos, en cuanto a variedad y cantidad.

Gran cantidad de los materiales que constituyen los sistemas vivos están en forma de biopolímeros o macromoléculas (moléculas de elevada masa molecular), que pueden agruparse en: a) proteínas como la hemoglobina y las enzimas; b) carbohidratos poliméricos tales como la celulosa, almidón y glucógeno, y c) los ácidos nucleicos ADN y ARN. En todos ellos destaca la presencia de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Sin embargo, en la actualidad, el hombre fabrica cantidad de polímeros sintéticos tales como los plásticos, en los cuales los tres elementos mencionados también son la base de su estructura.

² En los procesos bioquímicos tampoco se conservan las sustancias, pero se distinguen de los químicos en que ocurren mediante la acción de algún agente biológico (levaduras, microbios, etcétera), o bien, se llevan a cabo en algún organismo vivo.

³ En los procesos nucleares, se forman otros núcleos distintos de los de al principio, es decir, los núcleos no se conservan.

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1	Los conceptos más frecuentes asociados con materia.	85
Gráfica 2	Constituyentes químicos de los seres vivos.	96
Gráfica 3	Diferencia entre la composición química de la materia viva y la materia inerte.	101
Gráfica 4	Presencia de un mismo elemento químico en la materia viva y en la inerte.	102
Gráfica 5	Diferencias entre los átomos de distintos elementos químicos.	109
Gráfica 6	¿Cómo son entre sí los protones de diferentes elementos químicos? ¿Y los neutrones? ¿Y los electrones?.	110
Gráfica 7	Tipos de enlaces químicos presentes en la materia viva.	113
Gráfica 8	Tipos de enlaces químicos presentes en la materia inerte.	113
Gráfica 9	Designación de componentes relacionados con la configuración Electrónica del átomo.	118
Gráfica 10	Porcentajes de preguntas sin respuesta.	126

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1	Características de las ciencias formales y fácticas.	49
Tabla 2	Porcentaje de estudiantes, por grado, que usan los términos átomo, ión y molécula en sus explicaciones (Abraham y otros, 1994).	65
Tabla 3	Población que ingresó y egresó en los ciclos escolares 1998-1999, 1999 y 2002, en las carreras de Biología, Física y Química, en las Facultades de Ciencias y Química de la UNAM.	75
Tabla 4	Modalidades de las preguntas del cuestionario.	76
Tabla 5	Principales conceptos investigados mediante las preguntas del cuestionario.	77
Tabla 6	Propósito de las preguntas del cuestionario.	80
Tabla 7	Los conceptos más frecuentemente asociados con Materia.	86
Tabla 8	Enunciados a nivel macroscópico y submicroscópico expresados por los alumnos.	92
Tabla 9	Parte más pequeña constituyente de diversos objetos, sustancias y materiales.	95
Tabla 10	Clasificación por los estudiantes de Biología, de diversos objetos y materiales en especies establecidas.	97
Tabla 11	Clasificación por los estudiantes de Física, de diversos objetos y materiales en especies establecidas.	98
Tabla 12	Clasificación por los estudiantes de Química, de diversos objetos y materiales en especies establecidas.	99
Tabla 13	Ejemplos de compuestos más frecuentemente mencionados.	103
Tabla 14	Ejemplos de mezclas citados con más frecuencia.	103
Tabla 15	Caracterización de un compuesto.	104
Tabla 16	Caracterización de una mezcla.	105

Tabla 17	Consecuencias de la alteración del número de partículas del átomo.	108
Tabla 18	Principales argumentos manifestados por los alumnos para justificar la diferencia entre átomos de distintos elementos químicos.	109
Tabla 19	Descripción de enlace químico.	111
Tabla 20a	Representaciones del átomo elaboradas por los estudiantes.	115
Tabla 20b	Representaciones del átomo elaboradas por los estudiantes.	116
Tabla 21a	Representaciones de la molécula de agua que pueden ser consideradas correctas.	119
Tabla 21b	Representaciones incorrectas de la molécula de agua, por inversión de la relación 2:1 del hidrógeno y oxígeno.	121
Tabla 21c	Otras representaciones erróneas o confusas de la molécula del agua.	122
Tabla 22	Principales categorías generales de representación de la molécula de agua.	124
Tabla 23	Porcentajes de representaciones correctas e incorrectas de la molécula de agua.	124
Tabla 24	Preguntas sin respuesta de los alumnos.	125
Tabla 25	Problemas conceptuales más destacados en los alumnos de las tres carreras.	127
Tabla 26	Coincidencias más destacadas en términos, conceptos y enunciados, mencionados por los estudiantes de las tres carreras.	131
Tabla 27	Abundancia natural de elementos en seres vivos y en cuerpos y materiales inertes.	157

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1	Representación bidimensional de organización del conocimiento de acuerdo a los conceptos involucrados.	14
Figura 2	Modelo de una posible interacción entre conocimiento disciplinario, curricular, experiencial y personal.	15
Figura 3	La mayoría de las moléculas presentes en los seres vivos incluyen al carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.	69
Figura 4	Niveles de organización de los seres vivos.	69
Figura 5	El átomo de carbono contiene 6 neutrones, 6 protones y 6 electrones.	69
Figura 6	Nube electrónica. La velocidad y las múltiples direcciones en las que se desplazan los electrones dejan huellas que forman una nube electrónica.	70
Figura 7	Modelo del átomo de “nube de electrones”.	70
Figura 8	Bioelementos o elementos indispensables para la vida.	71
Figura 9	Molécula de oxígeno formada por dos átomos.	71
Figura 10a	Mapa conceptual con los conceptos más frecuentemente mencionados con relación a la composición y estructura de la materia, a nivel macroscópico.	81
Figura 10b	Mapa conceptual con los conceptos más frecuentemente mencionados con relación a la composición y estructura de la materia, a nivel microscópico.	82
Figura 11	Mapa conceptual con relación a la composición de la materia.	83
Figura 12	Mapa conceptual referente a sistemas de materia.	84