



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“ESTRATEGIA DIDÁCTICA INTRODUCTORIA PARA
LA ENSEÑANZA DEL TEMA DE LA CÉLULA
EN EL BACHILLERATO”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I Ó L O G A
P R E S E N T A:
ROSA MARGARITA PACHECO HERNÁNDEZ



DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARIA EUGENIA TOVAR MARTÍNEZ

2004



**FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo receptivo.

NOMBRE: Rosa Margarita Pacheco Hernández
FECHA: 04 Feb 2004
FIRMA: [Firma]



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

“Estrategia Didáctica Introdutoria para la Enseñanza del Tema de la Célula en el Bachillerato”

realizado por Rosa Margarita Pacheco Hernández

con número de cuenta 09455627-2, quien cubrió los créditos de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario Dra. María Eugenia Tovar Martínez *Ma Eugenia Tovar*

Propietario Dr. Luis Felipe Jiménez García *[Firma]*

Propietario M. en C. Juan Francisco Barba Torres *[Firma]*

Suplente M. en C. Gerardo Rivas Lechuga *[Firma]*

Suplente M. en C. María Teresa Gaspar Dillanes *[Firma]*

Consejo Departamental de Biología

[Firma]
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGÍA

Agradecimientos

A todo el equipo de trabajo de Proyecto "Preconceptos científicos en los estudiantes" por todo el apoyo que me brindaron, y por compartir conmigo sus conocimientos.

A la Dra. Ma. Eugenia Tovar por todas las observaciones hechas para lograr esta tesis así como su dedicación, asesoría y apoyo incondicional mostrados desde el principio.

A mis sinodales por las revisiones y observaciones para mejorar esta tesis.

Dedicatoria

A mis padres y hermanos por el tiempo que pasamos juntos y el apoyo que me dieron siempre.

En especial a mi esposo Alejandro por su amor y apoyo incondicional que me impulsa a seguir adelante.

Comparto este logro:

Con todos mis familiares y amigos, a quienes agradezco sus consejos y estímulos para llegar hasta el fin.

Resumen

La investigación educativa revela la existencia de un severo problema en la enseñanza-aprendizaje de la ciencia. El presente trabajo se fundamenta en la visión constructivista del aprendizaje. Bajo esta perspectiva, se pone de manifiesto que los alumnos de bachillerato construyen sus representaciones sobre la célula a partir de las *ideas previas* que poseen. Por lo tanto, el objetivo principal de esta tesis consiste en conocer las ideas previas de los estudiantes del bachillerato, que son con las que enfrentan el estudio de la célula. Los resultados de la investigación servirán para proponer algunas sugerencias para la enseñanza del tema, con el propósito de contribuir a que el aprendizaje del concepto de célula sea lo más aproximado al científicamente aceptado. Para conocer las representaciones de los estudiantes se trabajó con las ideas previas en el capítulo cuarto. En un primer momento se clasificaron en tres subtemas y posteriormente dentro de cada subtema en concepciones, categorías y marcos, con el fin de identificar algunos patrones del pensamiento en los estudiantes. Esta jerarquización de las ideas previas permitió la identificación de algunos problemas conceptuales. Posteriormente en el capítulo cinco se incluye el análisis de los Programas de Estudio del Colegio de Ciencias y Humanidades correspondientes a la asignatura de Biología I, con el propósito de conocer la organización temática de ésta y la manera de enseñar el tema. Una herramienta valiosa de la que se echó mano fue la utilización del Programa Operativo de Biología I debido a que proporciona una descripción detallada de las actividades que tanto profesores como alumnos deberán realizar.

Con todos estos elementos de análisis se procedió, en el capítulo seis, a la elaboración de una estrategia didáctica para la enseñanza del tema, cuyo propósito es acercar a los estudiantes a la construcción de una representación conceptual de la célula más cercana a la visión científica.

El análisis de las ideas previas en el tema de célula de los alumnos del bachillerato, muestra en primer lugar que la investigación en torno a las representaciones conceptuales sobre la célula se encuentra fraccionada, ya que aún no se tiene un panorama suficientemente amplio que permita establecer los diferentes modelos de pensamiento de los alumnos en torno a la célula. En segundo lugar el análisis de las ideas previas reveló la existencia de ciertos marcos a través de los cuales los estudiantes explican la

estructura y fisiología de la célula y algunos procesos relacionados como son: los de osmosis, difusión, fotosíntesis y respiración. Pero sin duda uno de los aspectos más interesantes es el hecho de que los alumnos del bachillerato poseen conocimientos insuficientes, además de que manifiestan ciertas confusiones y emplean términos inadecuados sobre la célula.

Tomando en cuenta lo anterior es que se ha propuesto una estrategia didáctica general basada en las ideas previas de los estudiantes, que les introduce al tema y cuyo fin es sugerir a los profesores cómo superar algunos problemas conceptuales encontrados, así como una propuesta de enseñanza de dicho tema en aras de aproximar al alumno a la construcción de conceptos de célula más detallados y abstractos.

CONTENIDO

Indice de Figuras.....	10
Indice de Tablas.....	11
Introducción.....	12
i. Justificación.....	14
ii. Objetivos.....	15
iii. Metodología.....	15
I. Ideas Previas, Constructivismo y Cambio Conceptual.....	16
I.1 Descripción del Problema.....	16
I.2 Causas y Propuestas para mejorar el aprendizaje.....	16
I.3 Cómo se inició la investigación de las ideas previas.....	17
I.4 Ideas previas.....	18
I.4.1 Origen de las ideas previas.....	20
I.4.2 Características de las ideas previas.....	20
I.5 Sobre el Constructivismo.....	22
I.5.1 Historia y Tipos de Constructivismo.....	23
I.6 Cambio conceptual.....	26
I.6.1 Líneas de investigación del cambio conceptual.....	31
I.6.2 Las analogías en el cambio conceptual.....	31
I.6.2.1 Ventajas de la enseñanza con analogías.....	32
I.6.2.2 Modelo de enseñanza con analogías de Glynn y colaboradores.....	35
II. Investigaciones realizadas en torno a las ideas previas sobre la célula en los estudiantes de bachillerato.....	38
II.1 Investigación de las ideas previas.....	38
II.1.2 Investigación de las ideas previas en México.....	39
II.2 Problemática.....	39
II.3 Propuesta para la solución del problema.....	40
II.4 Trabajos de investigación sobre las ideas previas de célula en los estudiantes de secundaria y bachillerato.....	40

III. La célula: Un concepto científico.

III.1	Aspectos históricos del descubrimiento de la célula.....	45
	III.1.1 Visiones filosóficas: Mecanicismo y Vitalismo.....	46
	III.1.2 Siglo XVII.....	46
	III.1.3 Siglo XIX.....	49
III.2	Formulación de la teoría celular.....	51
	III.2.1 Conclusiones de Schleiden y Schwann para la conformación de la teoría celular.....	54
	III.2.2 La división celular nuclear.....	54
	III.2.3 Finalmente los postulados de la Teoría Celular.....	55
III.3	Descubrimientos posteriores a la formulación de la teoría celular.....	55
	III.3.1 Repercusiones de la teoría celular.....	56
III.4	La célula: La unidad fundamental de los seres vivos.....	59
	III.4.1 ¿De qué están compuestas las células?.....	59
	III.4.2 Características estructurales de las células.....	59
	III.4.3 Número de células en los organismos multicelulares.....	68
	III.4.4 Tamaño de las células.....	68
	III.4.5 Forma de las células.....	69

IV. Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato sobre el concepto de célula.....72

IV.1	Categorización de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la estructura y fisiología de la célula.....	74
	IV.1.1 Análisis de las representaciones conceptuales de los estudiantes de bachillerato en torno a la estructura y fisiología de la célula.....	84
IV.2	Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato sobre la osmosis y la difusión.....	88
	IV.2.1 Análisis de las representaciones conceptuales en torno a los procesos de osmosis y difusión.....	90
IV.3	Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato sobre fotosíntesis y respiración.....	95
	IV.3.1 Análisis de las representaciones conceptuales de los estudiantes de bachillerato en torno a la fotosíntesis y la respiración.....	98

V. Análisis de los programas de estudio de las asignaturas de Biología en el Colegio de Ciencias y Humanidades	101
V.1 Enfoque de la asignatura de Biología.....	101
V.2 Sugerencias de evaluación.....	102
V.3 Programas de Estudio de la asignatura de Biología en el CCH.....	103
V.4 Biología I.....	104
V.4.1 Evaluación ordinaria y extraordinaria.....	106
V.4.2 Análisis del programa de estudio de Biología I.....	106
V.4.3 Programa operativo de la asignatura de Biología I.....	114
VI. Propuesta de una estrategia didáctica introductoria al tema de la célula para los estudiantes de bachillerato	120
VI.1 Tamaño y forma de la célula.....	120
VI.1.1 Actividades para la enseñanza del tamaño y la forma de la célula.....	122
VI.2 Antropomorfismo.....	124
VI.2.1 Actividades relacionadas con los conceptos antropomórficos.....	125
VI.3 Moléculas y reacciones químicas.....	126
VI.3.1 Actividades para la enseñanza de moléculas y reacciones químicas.....	126
VI.4 Osmosis y difusión.....	127
VI.4.1 Actividades para la enseñanza de osmosis y difusión.....	128
Conclusiones	129
Bibliografía	130

Índice de Figuras

Figura I.1 Significado de la analogía.....	33
Figura III.1 Mapa conceptual de la visión científica de la célula.....	71
Figura IV.1 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la estructura y fisiología de la célula. Marcos 1, 2 y 3.....	82
Figura IV.2 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la estructura y fisiología de la célula. Marcos 4, 5, 6 y 7.....	83
Figura IV.3 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a los procesos de osmosis y difusión.....	94
Figura IV.4 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a fotosíntesis y respiración.....	100

Índice de Tablas

Tabla III.1 Resumen de los aspectos históricos en torno a la célula.....	58
Tabla III.2 Características de las células procariontes y eucariontes (animales y vegetales).....	60
Tabla III.3 Estructura y función de los organelos celulares.....	63-65
Tabla V.1 Programa de estudio para la asignatura de Biología I. Primera Unidad.....	111
Tabla V.2 Programa de estudio para la asignatura de Biología I. Segunda Unidad.....	112
Tabla V.3 Programa Operativo de Biología I. Unidad I. Primera parte.....	114
Tabla V.4 Programa Operativo de Biología I. Unidad I. Segunda parte.....	115
Tabla V.5 Programa Operativo de Biología I. Unidad I. Tercera parte.....	116
Tabla V.6 Programa Operativo de Biología I. Unidad I. Cuarta parte.....	117

Introducción

Los bajos niveles de aprovechamiento de los estudiantes, su falta de interés por la ciencia, e incluso la deserción escolar (Flores, 2000) son problemas educativos muy importantes que lamentablemente son cotidianos. Las investigaciones realizadas en la Enseñanza de las Ciencias muestran que estos problemas tienen su origen en la dificultad que tienen los estudiantes para comprender los conceptos científicos.

En los últimos treinta años se ha venido desarrollando una nueva forma de abordar el problema de la enseñanza de las ciencias relacionada con las ideas previas. Uno de los primeros hechos de los que se percataron los investigadores es que los estudiantes tenían otras formas de representar y entender la naturaleza diferente a la explicación científica y con las cuales podían describir y explicar gran parte de los fenómenos. Se encontró que uno de los principales problemas para el aprendizaje de los conceptos científicos era la manera cómo los estudiantes construían sus representaciones conceptuales y cómo interpretaban los fenómenos naturales (Flores *et al.*, 2000).

Bajo este nuevo enfoque del problema, se desarrollaron programas de investigación en torno a las ideas previas de los estudiantes en diversas disciplinas científicas. Este gran cúmulo de investigaciones ha permitido definir lo que se entiende por el término idea previa. Las ideas previas son el conjunto de representaciones conceptuales sostenidas por los estudiantes, derivadas de su interacción con los fenómenos naturales y también por la explicación e interpretación que recibe de ellos en la escuela (Mintzes *et al.*, 1991). Así que estas construcciones personales hacen alusión a la explicación, interpretación o predicción de un fenómeno que no siempre corresponden con la interpretación que la ciencia presenta acerca de los mismos. Estas ideas son elaboradas de modo más o menos espontáneo por el aprendiz en su interacción cotidiana con el mundo y por la

influencia del medio escolar. Por su naturaleza éstas ideas suelen ser bastante estables y resistentes al cambio, ya que logran dar explicaciones satisfactorias de los fenómenos naturales al individuo que las genera (Pozo *et al.*, 1991). Este tipo de ideas las presentan personas de muy diversas características sin importar factores como la edad, género, cultura (Wandersee *et al.*, 1994); pudiendo incluso trascender en el tiempo, apareciendo en los alumnos actuales ideas similares a las elaboradas por los filósofos y científicos eminentes de tiempos pasados (Pozo *et al.*, 1991; Wandersee *et al.*, 1994).

Es importante mencionar que la investigación de las ideas previas ha sido un suceso importante en el desarrollo de la enseñanza de las ciencias, porque ha proporcionado conocimiento acerca de las concepciones con las que los estudiantes de ciencias enfrentan el aprendizaje de los conocimientos científicos y porque ha puesto de manifiesto que dicho aprendizaje lleva implícito un problema de construcción y transformación conceptual (Wandersee *et al.*, 1994).

Las ideas previas han sido estudiadas ampliamente en países como Estados Unidos, Reino Unido, Nueva Zelanda, Australia, Canadá, España e Israel; gracias a esto se han desarrollado, implementado y reformado currícula a partir de ellas. De igual manera los resultados de estas investigaciones han permitido el desarrollo de nuevos materiales didácticos y textos más adecuados para llevar a los estudiantes al aprendizaje significativo de los conceptos científicos (Flores *et al.*, 2000).

A pesar de todos estos avances, la situación en México es muy diferente porque estas investigaciones cuentan con muy pocos trabajos y su desarrollo aún es muy incipiente (Flores, 2000); esto ha causado en parte que muchos profesores las desconozcan y por lo tanto no las toman en cuenta para la planeación de sus clases.

Un rumbo que han tomado las investigaciones es buscar la forma en que los alumnos se hagan conscientes de que con sus ideas previas no pueden explicar completamente los fenómenos naturales y que es necesario que reformulen sus conceptos centrales para poder lograrlo, proceso al que le se conoce como "cambio conceptual" (Posner *et al.*, 1995).

i. Justificación

Enseñar y aprender ciencia no es una tarea fácil, ya que no consiste en llenar la mente de los estudiantes con conocimiento que consideramos útil. En este proceso están involucrados una serie de factores que contribuyen a la paulatina construcción del conocimiento. Un aprendiz no se vuelve experto en unos cuantos meses, así como tampoco un estudiante construye sus conceptos científicos en poco tiempo. Para ello requiere de un largo proceso en el que sin duda están presentes sus "propias ideas" sobre los conceptos, ideas que por lo regular satisfacen sus explicaciones. Sin embargo, muchas veces estas ideas constituyen un verdadero obstáculo que le impiden seguir avanzando en su comprensión de conceptos más abstractos. En este sentido, conceptualizar a la célula es muy importante debido a que constituye la base sobre la cual el alumno construirá conceptos más complejos como los relacionados con la Genética (Medina, 2003), entre otras disciplinas biológicas. De ahí que se considera importante promover la investigación de las ideas previas en el caso particular de los conceptos biológicos, con el propósito de crear estrategias efectivas de enseñanza y de currícula más adecuados.

ii. Objetivos

Conocer las representaciones conceptuales de los estudiantes de bachillerato en torno a la célula constituye una herramienta valiosa que no sólo permitirá identificar algunos problemas conceptuales sino que llevará al diseño de una estrategia para la enseñanza de la célula, por ello los objetivos iniciales de la tesis fueron:

1. Conocer las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la célula.
2. Identificar algunos problemas conceptuales de los estudiantes del bachillerato relacionados con el estudio de la célula.

El objetivo central de este trabajo es:

- ◆ Presentar una estrategia didáctica enmarcada en la visión constructivista, que permita la enseñanza-aprendizaje de cuatro aspectos relacionados con el concepto de célula (tamaño y forma de la célula, moléculas y reacciones químicas, ósmosis y difusión, antropomorfismo) tomando como referencia a las ideas previas expresadas por estudiantes del nivel bachillerato.

iii. Metodología

- Se comenzó con la búsqueda de textos especializados en la investigación de las ideas previas de los alumnos de nivel bachillerato (artículos, libros e Internet).
- Posteriormente se procedió a la identificación y clasificación de las ideas previas en torno al tema considerado.
- Además con ayuda de los Programas de Estudio del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM, se hizo el análisis de la forma de enseñanza del tema en dicha institución.
- Finalmente con todos los elementos mencionados se procedió a hacer el análisis de las representaciones y problemas conceptuales encontrados en los estudiantes, a partir de los cuales se elaboró la estrategia didáctica.

Capítulo I. Ideas Previas, Constructivismo y Cambio Conceptual

I.1 Descripción del Problema

La investigación enfocada a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias revela la existencia de un problema educativo. Este problema se manifiesta en los bajos niveles de aprovechamiento de los estudiantes, en su falta de interés por la ciencia e incluso en deserción escolar (Flores, 2000).

Flores (2000) señala que con frecuencia los estudiantes de Física expresan que los conocimientos científicos no tienen relación con su vida cotidiana y debido a ello muestran desinterés por la ciencia. Por su parte los profesores atribuyen los problemas de aprendizaje y desinterés, a la falta de las bases necesarias –en los estudiantes– para la comprensión de los conceptos científicos; además de la carencia de materiales didácticos que sean adecuados para su enseñanza, así como de metodologías didácticas efectivas.

I.2 Causas y Propuestas para mejorar el aprendizaje

Encontrar las causas de este problema no ha sido tarea fácil e incluso las que se han propuesto son todavía objeto de debate. Campanario (2000) afirma que “probablemente las causas del fracaso escolar sean múltiples: parte de la responsabilidad está en los alumnos, parte en los profesores y, seguramente otra parte está en el contexto escolar y en la propia sociedad”. Sin duda todo lo anterior podría influir de una o de otra forma en el aprendizaje de los estudiantes, sin embargo es necesario identificar el problema educativo de fondo y proponer soluciones.

Como señala Flores (2000), si las causas de estos problemas educativos estuvieran en una mala ejecución de la práctica docente, este problema se solucionaría, por un lado, integrando mejor los conocimientos que se enseñan a las percepciones comunes y cotidianas, y por el otro, reforzando el conocimiento previo de los estudiantes y contando con más equipos y materiales. Sin embargo, el problema aún persiste y se siguen viendo los pobres resultados hasta ahora logrados con los estudiantes.

Por otra parte, si se considera que el problema se debe a la falta de métodos que le permitan al profesor enseñar bien, o a los estudiantes ser partícipes de la metodología

científica, entonces la solución a dicho problema consistiría en implementar algunas actividades con las cuales se facilite y garantice, que los alumnos aprenderán los conocimientos científicos. En este enfoque el papel del profesor consiste en aplicar correctamente los procedimientos indicados, y el del alumno el seguirlos. Bajo esta visión del traslado del problema al enfoque metodológico, disciplinas como la Pedagogía y la Psicología han propuesto soluciones al problema del aprendizaje, con las que se espera que los estudiantes puedan desarrollar habilidades que le permitirán comprender e integrar todo tipo de conocimiento científico. Evidentemente estas propuestas dependen de sus enfoques teóricos y de las posiciones que los autores sostienen sobre el aprendizaje.

Por muchos años ha dominado la creencia de que la solución al problema educativo consiste en mejorar la forma como se enseña y aplicar nuevas metodologías, sin embargo a pesar de ser considerados como los enfoques adecuados para mejorar el aprendizaje; los problemas aún persisten y los resultados obtenidos con los estudiantes han sido poco satisfactorios (Flores, 2000). Como se verá más adelante, los hallazgos y contribuciones en la enseñanza de las ciencias han permitido la construcción de un nuevo enfoque, bajo el cual ha sido posible identificar la raíz del problema, que se encuentra en estrecha relación con el aprendizaje de los conceptos científicos.

1.3 Cómo se inició la investigación de las ideas previas

Gallegos (1998) explica el impacto que causaron las primeras investigaciones sobre las ideas de Física de los estudiantes en la conciencia educativa de sus profesores.

"Durante la década de los setentas...investigaciones sobre las ideas físicas de los estudiantes...mostraron que estudiantes universitarios respondían a problemas sencillos de igual forma en que lo haría un estudiante de una escuela secundaria. Estos trabajos pusieron de manifiesto que mientras los profesores de ciencia, mantenían una "creencia" sobre el nivel académico de sus estudiantes, ellos mantenían sus propias "creencias" sobre los fenómenos cotidianos sin ir más allá de una vinculación parcial con el conocimiento científico. Diversas preguntas sobre la educación en el área de ciencias se plantearon tratando de dar una respuesta a las ideas mostradas por los estudiantes y a la influencia que la escuela tenía sobre ellos".

Esto propició que los investigadores educativos orientaran sus trabajos hacia la comprensión de los problemas relacionados con el aprendizaje de los conocimientos

científicos y la forma como éstos eran incorporados por los estudiantes. Así fue como se iniciaron diversos campos de investigación, entre ellos: el de las concepciones alternativas de los estudiantes, el desarrollo de los conceptos científicos y el cambio conceptual. Durante éste proceso, diversos enfoques teóricos tuvieron que ser incorporados así como diversas líneas y posturas teóricas fueron desarrollándose durante el transcurso de las investigaciones (Gallegos, 1998). Esto permitió que las investigaciones en enseñanza de las ciencias se orientaran hacia el análisis del problema a partir del propio sujeto que aprende, pero no desde una perspectiva psicológica, sino sobre sus formas de representación y comprensión de los conceptos científicos (Flores, 2000).

Uno de los hallazgos que hicieron los investigadores cuando comenzaron a analizar el problema partiendo del sujeto, fue el hecho de que en cada estudiante coexistían dos representaciones sobre los fenómenos científicos: una propia, construida por su interacción con el entorno, resultado de su experiencia cotidiana con los fenómenos naturales, y otra introducida por la escuela, que evidentemente no corresponde a su percepción de la realidad. Así que el conocimiento de la coexistencia de dos representaciones en la mente de los estudiantes, explicó en principio, la poca relación que tenían sus conocimientos científicos con los de su vida cotidiana y mostraron la carencia de significado de éstos para los alumnos.

También se reconoció que uno de los principales problemas para el aprendizaje de los conceptos científicos era la manera cómo construyen los estudiantes sus representaciones conceptuales y cómo interpretan los fenómenos naturales (Flores *et al.*, 2000).

Estos hallazgos permitieron determinar y consolidar la existencia de lo que actualmente se conoce como las "ideas previas de los estudiantes".

1.4 Ideas previas

Los resultados de aproximadamente veinticinco años de investigación sobre las ideas previas de los estudiantes, han permitido reunir suficiente información sobre ellas. Uno de los aspectos interesantes de las ideas previas es la extensa variedad de nombres con los cuales se les ha llamado. En parte "esta diversidad de nombres indica la postura que han adoptado los investigadores en cuanto a cómo se construye el conocimiento y a su valoración del conocimiento científico y del aprendizaje", o bien "sólo es un nombre utilizado sin marcar definitivamente una posición específica" (<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>).

Ejemplos de estas denominaciones son: "ideas ingenuas" (Caramazza, McCloskey, & Green, 1981); "ideas erróneas" (Fisher, 1983); "preconcepciones" (Hashweh, 1988); "versiones de ciencia múltiple privadas" (McClelland, 1984); "fuentes subrayadas de error" (Fisher & Lipson, 1986); "modelos personales de realidad" (Champagne, Gunstone & Klopfer, 1985); "razonamiento espontáneo" (Viennot, 1979), "peligros persistentes" (Meyer, 1987), "concepciones alternativas" (Wandersee *et al.*, 1994) entre otros (texto citado por Wandersee *et al.*, 1994).

A pesar de la gran cantidad de nombres que existen para referirse a las representaciones sostenidas por los estudiantes, en esta tesis se les denomina "ideas previas" por las siguientes razones. En primer lugar porque es importante que las representaciones que tienen los estudiantes puedan entenderse como posibles de transformación, y en segundo, porque el término no lleva implícito un sentido negativo de esas concepciones (como ocurre con el término en inglés "misconceptions" o "errores conceptuales").

Además, las ideas previas deben su nombre a que no han pasado por un proceso de transformación conceptual; por lo tanto es importante aclarar que el término idea previa no necesariamente indica que la idea sea anticipada a la instrucción sino anterior a cualquier tipo de transformación, por lo que el término sólo debe ser asumido en el momento en que la idea es identificada (Flores, 2000).

Una vez que se ha establecido el nombre que se utilizará para designar a dichas concepciones, lo siguiente es precisar que debe entenderse por ellas.

Las ideas previas son el conjunto de representaciones, que tienen los alumnos, sobre los conceptos científicos, más adelante se detallan sus características, por ahora, basta decir que las ideas previas permiten a los estudiantes explicar, describir y predecir gran parte de los fenómenos científicos.

Es importante señalar que las ideas previas no son definiciones sino enunciados y debido a que éstos corresponden a las expresiones verbales de las representaciones construidas sobre los conceptos científicos, pueden ser descriptivos o explicativos.

Por el uso que hacen los estudiantes de ellas se considera necesario conocer estas representaciones, que tienen gran importancia en el proceso de aprendizaje, porque: a) dirigen y orientan el procesamiento de la información que reciben de diversas fuentes, pudiéndoles dar una interpretación diferente a la que se pretende comunicar; b) porque no van a ser fácilmente sustituidas por las ideas científicas, esto debido a que han sido fruto de una experiencia muy reiterada y c) porque en ocasiones los alumnos asumirán

la explicación del profesor en la clase y seguirán con sus esquemas en otros contextos, con lo que no se habrá producido un verdadero aprendizaje.

I.4.1 Origen de las ideas previas

Driver *et al.* (1985) identificaron cinco características generales de las ideas de los alumnos que pueden entenderse como posibles causas de su aparición, estas son:

- a) El pensamiento de los alumnos está dominado por la percepción.
- b) El pensamiento de los alumnos limita su atención a unos pocos aspectos de la situación, generalmente los más aparentes.
- c) Los alumnos utilizan un razonamiento causal lineal.
- d) Los alumnos poseen conceptos indiferenciados.
- e) El pensamiento de los alumnos depende del contexto en que se active.

Flores (2000) atribuye el origen de las ideas previas a la necesidad de interpretar los fenómenos naturales. Además las ideas previas están influenciadas por el lenguaje común, con su característica falta de precisión (Llorens y de Jaime, 1987) y del contexto social (Solomon, 1987) por ejemplo los medios de comunicación, que ayudan a reforzarlas. Y también, como proponen Pozo *et al.* (1991) algunas ideas previas tienen su origen en el uso de analogías, ya sea generadas por los propios alumnos o sugeridas a través de la enseñanza.

I.4.2 Características de las ideas previas

Las ideas que poseen los estudiantes presentan características generales que las hacen útiles para el análisis de los problemas de la enseñanza y el aprendizaje. De acuerdo con varios autores éstas características son:

- 1) Las ideas previas son construcciones de los sujetos elaboradas en función de su interacción con los fenómenos cotidianos, lo que implica que son formadas por las interpretaciones que los sujetos llevan a cabo a partir de la fenomenología que perciben y de la información que reciben en la escuela o por otro medio (Mintzes *et al.*, 1991; Gallegos, 1998).
- 2) Lo que se observa en las investigaciones reportadas en la literatura es que las ideas previas afloran en toda situación donde el estudiante expresa su pensamiento y no se limita a repetir lo que le piden en la escuela (Flores, 2000).

- 3) Las ideas previas son implícitas, lo que significa que los estudiantes construyen sus representaciones de los fenómenos sin llevar a cabo una toma de conciencia de sus ideas y explicaciones (Gallegos, 1998). Debido a su carácter implícito es difícil detectarlás y erradicarlás (Campanario, 2000).
- 4) Se ha encontrado que diversas ideas previas son similares en estudiantes de distintos contextos sociales y culturales, no importando factores como la edad, género, país, sociedad o situación económica y pueden incluso trascender en el tiempo (Pozo *et al.*, 1991). De esta manera, las ideas previas de un mismo nivel son iguales para todo contexto social o cultural (Gallegos, 1998).
- 5) Las ideas previas en un mismo alumno pueden ser contradictorias cuando se aplican a contextos diferentes. Esto sucede cuando ante fenómenos que podrían explicarse bajo los mismos principios, el estudiante genera ideas previas que son contradictorias sin que se percate de ello (Gallegos, 1998).
- 6) En varias ideas previas es posible encontrar similitudes con las ideas que se encuentran en la historia de la ciencia. En la actualidad existen diversas líneas de investigación en torno a la construcción de las ideas previas y los aspectos históricos (Gallegos, 1998).
- 7) Aunque estas concepciones suelen ser incoherentes desde el punto de vista científico, no tienen porque serlo desde el punto de vista del alumno. De hecho, suelen ser bastante predictivas con respecto a fenómenos cotidianos, aunque no sean científicamente correctas (Pozo *et al.*, 1991).
- 8) Las ideas previas son bastante estables y resistentes al cambio (Mintzes *et al.*, 1991), por lo que muchas veces persisten a pesar de muchos años de instrucción científica (Pozo *et al.*, 1991). Ello implica que las ideas previas no se modifican por medio de la enseñanza tradicional de la ciencia, sino que requieren de un proceso complejo para su transformación.
- 9) Los profesores, frecuentemente, comparten las ideas previas de los alumnos (<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>).
- 10) Las ideas previas interfieren con lo que se enseña en la escuela teniendo como resultado que el aprendizaje sea deficiente, con importante pérdida de coherencia (<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>).
- 11) Es posible modificar las ideas previas por medio de estrategias orientadas al cambio conceptual (<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>).

Con la investigación de las ideas previas se ha reconocido que el aprendizaje de los conocimientos científicos implica una transformación conceptual. Es decir, que para que los alumnos logren un aprendizaje significativo tienen que construir una nueva representación de los conceptos y darles un nuevo significado, de manera que les permita relacionar los conceptos nuevos con experiencias y conocimientos previos. Esto es lo que ha llevado a cambiar la propia concepción de aprendizaje. Anteriormente la concepción del aprendizaje se apoyaba en la suposición de que los estudiantes llegaban a sus clases con la mente vacía y por consiguiente, el papel del profesor consistía en llenarla con conocimiento. Por lo que el aprendizaje se concebía, como un proceso de adquisición de información, y en segundo lugar, como un proceso de desarrollo de destrezas. Actualmente esta postura está casi completamente abandonada (Campanario, 2000).

Para autores como Posner *et al.* (1995) el aprendizaje es una actividad racional que se preocupa de las ideas, de su estructura y de su evidencia. Para ellos, el acto de aprender es igual que el de investigar, en el sentido de que deben ser considerados como procesos de transformación conceptual.

Bajo esta nueva concepción de aprendizaje, se requiere que en la enseñanza se tomen en cuenta las ideas previas de los estudiantes y se proporcionen los elementos necesarios para que el alumno construya y modifique sus representaciones conceptuales para que se produzca un aprendizaje significativo. Es así como la investigación de las ideas previas se encuentra enmarcada dentro del enfoque constructivista.

1.5 Sobre el Constructivismo

El constructivismo es un término utilizado por psicólogos, filósofos y educadores (Novak, 1995). Es necesario saber que bajo el mismo término se agrupan concepciones, interpretaciones y prácticas bastante diversas (Gómez y Coll, 1994) ya que el constructivismo es una teoría de cognición, de aprendizaje, de enseñanza, de educación, de creencias personales, de conocimiento científico, de ética, de política, y una visión del mundo (Matthews, 2000). Pese a esta gran diversidad de apreciaciones del constructivismo, existe una idea central común a todas ellas, la cual está enunciada en el primer principio del constructivismo que dice lo siguiente: "el conocimiento no es recibido pasivamente sino construido activamente por el sujeto que aprende" (von Glasersfeld, 1989). En la idea constructivista se reconoce básicamente que el conocimiento es activo, individual, personal y que está basado en conocimiento previamente construido.

Desde el punto de vista de la teoría del aprendizaje, Ernst (1993) explica las bases del constructivismo utilizando la "metáfora de carpintería o arquitectura" según la cual se hace referencia a la construcción de estructuras a partir de piezas preexistentes especialmente conformadas para el trabajo. La metáfora describe el "aprendizaje" como la edificación de estructuras mentales, y el término reestructuración, a veces utilizado como sinónimo de acomodación o cambio conceptual, contiene esta metáfora. La metáfora de construcción no quiere decir que en el constructivismo el "aprendizaje" se construye a partir de piezas de conocimiento. El proceso es repetitivo de tal manera que los "bloques de construcción" de la comprensión son el producto de actos de construcción previos. De esta manera, la diferencia entre la estructura y el contenido de comprensión pueden ser solamente comparativos en el constructivismo. Estructuras previamente construidas se convierten en contenido en construcciones subsecuentes. Bajo esta perspectiva, las distintas posturas del constructivismo coinciden en afirmar que "... el conocimiento no es el resultado de una mera copia de la realidad preexistente, sino de un proceso dinámico e interactivo a través del cual la información externa es interpretada y reinterpretada por la mente que va construyendo progresivamente modelos explicativos cada vez más complejos y potentes" (Gómez y Coll, 1994).

Por lo tanto "La idea constructivista supone que las ideas de los alumnos son una construcción o elaboración cognitiva desarrollada por ellos, que influye en el logro de nuevos aprendizajes" (Pozo *et al.*, 1991).

El constructivismo como visión de la enseñanza y del aprendizaje de las ciencias ha aportado un marco de referencia para el desarrollo de la enseñanza de las ciencias. Por ello, el constructivismo (como epistemología o como teoría del conocimiento) tiene una importancia predominante en muchas áreas de investigación psicológica y educativa (Pozo *et al.*, 1991). Tanto que actualmente la mayoría de las investigaciones y aplicaciones docentes en ciencias se desarrollan bajo una visión constructivista (Marín *et al.*, 1999).

1.5.1 Historia y Tipos de Constructivismo

Hasta los años setenta, el aprendizaje fue concebido a través de las ideas asociacionistas que defendían la postura de que un estímulo (E) del medio producía una respuesta (R) del organismo y, mediante su repetición, se formaba un vínculo E-R tal que un E determinado estaba asociado con una determinada R. Esta teoría conocida como teoría del aprendizaje asociacionista estaba basada en experimentos

con animales de laboratorio y tuvo su auge en los años cincuenta. Sin embargo las ideas asociacionistas fueron desechadas debido a que no podían describir y predecir cómo se produce el conocimiento y cómo aprenden las personas (Novak, 1995). Jean Piaget fue uno de los autores que se opusieron con más fuerza a los planteamientos empiristas y asociacionistas (Gómez y Coll, 1994). Afirmaba que la inteligencia atraviesa por estadios o períodos cuantitativa y cualitativamente distintos. En cada uno de esos estadios había una serie de tareas que el individuo debía realizar antes de pasar al otro estadio, y esto lo realizaría a través del descubrimiento y manipulación de los elementos que se le presentaban. Piaget afirmaba que el sujeto que aprende es activo frente al objeto de conocimiento, e interpreta la información proveniente del entorno. Considerando con esto que el sujeto es quien construye su propio conocimiento y que dicho proceso de construcción consiste en un proceso de reestructuración y reconstrucción, en el cual todo conocimiento nuevo se genera a partir de lo adquirido, y lo trasciende. Con lo anterior es evidente que muchos de los principios asumidos hoy por el constructivismo estaban ya presentes en la teoría piagetiana (Gómez y Coll, 1994).

Piaget consideraba al aprendizaje como una actividad individual en la que el sujeto aprende de acuerdo a lo que su desarrollo cognitivo le permita. No hace mayor referencia al aspecto social en relación con el aprendizaje. Su concepción de aprendizaje individual se refleja en las propuestas pedagógicas inspiradas en el constructivismo piagetiano, las cuales se caracterizan por la poca atención prestada a los contenidos y a la interacción social (y como consecuencia a la instrucción) (Gómez y Coll, 1994). Tal vez esa sea la razón por la cual Matthews (2000) se refiera al constructivismo piagetiano como constructivismo personal.

Durante las décadas de los sesenta y setenta muchos proyectos de educación primaria en países como Estados Unidos, Inglaterra, Australia entre otros, estaban fuertemente influidos por la teoría de Piaget. En la segunda mitad de los setenta, la evaluación de los proyectos curriculares mostró resultados poco alentadores, lo que provocó una notable disminución de la influencia piagetiana en los desarrollos curriculares (Marín *et al.*, 1999).

Posteriormente las aportaciones de Driver y Easley en 1978 y de Solomon en 1994 llevaron a la paulatina conformación del constructivismo social (citados por Marín *et al.*, 1999), cuyos orígenes se le atribuyen a Lev Vygotsky (Matthews, 2000) quien consideraba que el conocimiento es producto de la interacción social y cultural, ya que

según este psicólogo procesos como el lenguaje, razonamiento, comunicación, entre otros, se adquieren estando en interrelación con los demás.

Es claro que para los constructivistas sociales, el conocimiento es creado y legitimizado por medio del intercambio social en sus muchas formas (Staver, 1998). Así que el constructivismo social se configura a partir de los problemas que presentan los estudiantes para comprender las ciencias, y busca posteriormente, apoyos en la epistemología científica y en teorías sobre el conocimiento individual (Marín, 1999).

Por su parte Novak (1992) partiendo de la propuesta de Ausubel y utilizando otras consideraciones tomadas de las epistemologías de Toulmin y Khun y algunas inclusiones sobre neurología cerebral, propone lo que denominaría el constructivismo humano, que tuvo una incidencia significativa en el desarrollo de la enseñanza de las ciencias. A mediados de los ochenta se constata una influencia cada vez mayor de la filosofía de la ciencia para fundamentar los trabajos de la enseñanza. La propuesta de cambio conceptual, basada en la historia y filosofía de la ciencia, experimenta una aceptación y difusión que se concreta en numerosas experiencias en el salón de clases (texto citado por Marín *et al.*, 1999).

A comienzos de los años noventa, la historia del constructivismo adquiere mayor complejidad con la aparición del constructivismo radical. El creador y exponente del constructivismo radical es von Glasersfeld. Los principios del constructivismo radical son consecuentes con la idea de que el conocimiento es activamente construido por el sujeto, pero precisa que no se pueden transmitir ideas o significados al alumno, ya que es el sujeto el que en última instancia los construye y, por otro lado, afirma que la cognición tiene una función de construir explicaciones viables de nuestra experiencia y no es la de descubrir la "verdad" de la realidad (Marín *et al.*, 1999).

La controversia que genera la aparición de este nuevo constructivismo permite delimitar las distintas posturas dentro del mismo pero, a la vez, la exportación de etiquetas entre contextos diferentes induce a confusiones (Marín *et al.*, 1999).

Como puede verse, existen diversas formas de interpretación del constructivismo. Este enfoque y las ideas previas, han dado lugar a diversos subcampos de investigación en la enseñanza de las ciencias (Flores, 2000). Uno de estos subcampos es el del cambio conceptual.

1.6 Cambio conceptual

"El problema que enfrentan los profesores de ciencias es llevar al estudiante, quien usa una determinada concepción para interpretar un determinado fenómeno, a usar la concepción científicamente aceptada para interpretar ese fenómeno en particular y, posiblemente otros fenómenos también" (*Hashweh, 1986*).

El cambio conceptual se ha convertido en un término central en la investigación de la enseñanza de las ciencias (Thorley y Stofflett, 1996) ¿Por qué?

La respuesta se encuentra en la gran cantidad de trabajos acerca de las concepciones de los alumnos que demuestran que con mucha frecuencia las ideas previas de los estudiantes son diferentes de las ideas científicamente aceptadas. Smith *et al.* (1993) consideran que el aprendizaje significativo de la ciencia consiste en reorganizar o reemplazar las concepciones existentes para acomodar las nuevas ideas, proceso al que denomina cambio conceptual. Así que en el sentido amplio, el término cambio conceptual es una sustitución del término aprendizaje (Flores, 2000). En esencia el término ha sido utilizado para denotar la reorganización o reestructuración substancial de las estructuras (Vosniadou, 1999) o del conocimiento (Duit, 1991) ya existente en los alumnos, sin embargo, como se verá más adelante, existen muchas variantes en torno a él. Tal vez una de las definiciones más apropiadas de lo que se entiende por cambio conceptual es la siguiente:

El cambio conceptual es un proceso de transformación de estados de conocimiento previos a otros con características nuevas. Implica la construcción de nuevos conceptos, de estructuras y relaciones, que faciliten a su vez que los nuevos conceptos en desarrollo sean incorporados y estructurados dentro de las formas y esquemas previos de los estudiantes (Flores, 2000).

En términos generales para lograr el cambio conceptual, es necesario traer a la mente de los estudiantes sus concepciones para someterlas a conflicto y posteriormente, según los diversos autores, sustituirlas o transformarlas en ideas científicamente aceptadas (Pozo *et al.*, 1991).

De acuerdo con Venville y Treagust (1996), el cambio conceptual ha sido descrito desde múltiples perspectivas:

1. Epistemológica. Teoría del cambio conceptual propuesta por Posner *et al.* (1995).

2. Modelos mentales. Teoría de estructuras cognitivas descrita por Vosniadou (1999).
 3. Categorías ontológicas defendidas por Chi *et al.* (1994) y,
 4. Motivacional propuesta por Pintrich *et al.* (1993).
1. Desde la perspectiva epistemológica se encuentra el trabajo de Posner *et al.* (1995).

La teoría de cambio conceptual más preponderante de los años ochenta fue la desarrollada por Posner *et al.* (1995). Desde sus inicios, esta teoría fue ampliamente aplicada y con ello también revisada (Duit, 1999). El modelo de aprendizaje que plantea ha sido considerado por algunos autores como "el mejor modelo de cambio conceptual" (Hashweh, 1986) ya que en él se plasma una visión particular sobre el aprendizaje de la ciencia (Thorley y Stofflett, 1996).

Posner *et al.* (1982) haciendo uso de la filosofía de la ciencia y los trabajos de Kuhn (1970), Lakatos (1970) y Toulmin (1972) desarrollaron la teoría de cambio conceptual (Posner *et al.*, 1995), la cual está basada en una analogía entre el desarrollo conceptual de la ciencia y el de los individuos. Contiene la metáfora del "estudiante de ciencia como un científico". La analogía sugiere que de la misma forma en que los científicos tienen un trasfondo de compromisos centrales que organizan su investigación, los estudiantes tienen un trasfondo de compromisos centrales que organizan su aprendizaje. El cambio conceptual ocurre cuando estos compromisos centrales requieren ser modificados: los científicos o los estudiantes deben adquirir nuevos conceptos y una nueva forma de ver el mundo (Venville y Treagust, 1996).

Ante un nuevo conocimiento, los estudiantes recurren a su conocimiento existente para determinar si la concepción nueva es inteligible, plausible y fructífera. Es decir, el estudiante quiere saber lo que significa la nueva concepción, si es o no creible y si resuelve problemas previamente no resueltos. Si la nueva concepción satisface los tres criterios y es incorporada con las concepciones existentes, entonces ha tomado lugar el aprendizaje por cambio conceptual a través de un proceso denominado captura conceptual por Hewson y Thorley (1989) o asimilación por autores como Posner *et al.* (1982) y Treagust *et al.* (1996). Pero es posible que la nueva concepción tenga conflicto con las concepciones existentes, entonces el estudiante insatisfecho con la concepción anterior cambia a la nueva. A esta forma más radical de cambio conceptual se le conoce

como acomodación (Posner *et al.*, 1995) o en términos de Hewson y Thorley (1989) intercambio conceptual.

Es precisamente en esta forma más radical de cambio conceptual (acomodación) en la que se centra el trabajo de Posner *et al.* (1982). Según estos autores, antes de que ocurra una acomodación deben cumplirse cuatro condiciones necesarias:

- a) Debe existir insatisfacción con las concepciones existentes, es decir, que el estudiante toma conciencia de que con sus conceptos vigentes no puede resolver los problemas.
- b) La nueva concepción debe ser inteligible, se refiere a que el alumno debe comprender el nuevo concepto. Autores como Ortony, 1975; Belth, 1977; Black, 1962, acentúan la importancia de las analogías y las metáforas al permitir otorgar un sentido inicial a los nuevos conceptos (Posner *et al.*, 1995).
- c) Plausibilidad, es decir que el nuevo concepto que se adopte debe, al menos, tener la capacidad de resolver los problemas que no se podían resolver con la concepción anterior.
- d) Un nuevo concepto debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero. Debe ofrecer la posibilidad de extenderse, de abrir nuevas áreas de investigación (Posner *et al.*, 1995).

Lo anterior puede resumirse en que para que el cambio conceptual ocurra, los estudiantes deben estar insatisfechos con sus viejas concepciones y entonces las nuevas ideas deben encontrar las condiciones de inteligibilidad, plausibilidad y productividad para ser incorporadas exitosamente en su marco conceptual de trabajo (Venville y Treagust, 1996).

Para llevar a cabo una enseñanza basada en los principios de acomodación, podrían tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ◆ Desarrollar lecturas, demostraciones, problemas y experimentos de laboratorio que puedan usarse para crear conflictos cognitivos en los estudiantes.
- ◆ Ayudar a los estudiantes a dar sentido al contenido científico representando para ello este contenido en múltiples formas (por ejemplo, oral, práctica, entre otras).
- ◆ Desarrollar técnicas de evaluación que ayuden a los profesores a seguir los procesos de cambio conceptual en los estudiantes (por ejemplo, la entrevista clínica de Piaget (Posner *et al.*, 1995).

De acuerdo con Posner *et al.* (1982) el papel del profesor como clarificador de ideas y presentador de información no es adecuado para ayudar a los estudiantes a acomodar nuevas concepciones. El profesor debe confrontar al estudiante con el problema llevándolo a que asimile las nuevas concepciones (Posner *et al.*, 1995).

Así que el modelo de cambio conceptual descrito tiene dos aportaciones importantes. Una es la serie de condiciones para efectuarse y la otra es la ecología conceptual (Thorley y Stofflett, 1996), la cual se refiere a los conceptos vigentes del estudiante, que gobiernan y controlan el cambio conceptual (Posner *et al.*, 1995). A través de la ecología conceptual una concepción es representada ocupando un "nicho" en medio de factores cognitivos tales como el otro conocimiento, analogías y metáforas, experiencia pasada, compromisos epistemológicos de un aprendiz (Thorley y Stofflett, 1996) así como anomalías, creencias metafísicas sobre la ciencia y conceptos de ciencia, y conocimiento en otros campos (Venville y Treagust, 1996). En otras palabras, la ecología conceptual describe la estructura conceptual de los estudiantes como los componentes de un ecosistema (Duit, 1991).

2. Desde la perspectiva de los modelos mentales para el cambio conceptual, Vosniadou (1994) describe la teoría de estructuras cognitivas, que es usada como marco de referencia para explorar la naturaleza del cambio conceptual que tiene lugar en el aprendizaje de la Física (Venville y Treagust, 1996). Para explicarla es necesario hablar de los dos niveles de la teoría de estructuras cognitivas que son:
 - ❖ En el primer nivel se encuentran las teorías de marco conceptual superordinado; es decir presuposiciones ontológicas atrincheradas o epistemológicas basadas en las experiencias de vida del conocedor.
 - ❖ El segundo nivel incluye teorías específicas o conceptos. La construcción de estas teorías específicas está caracterizada por las presuposiciones atrincheradas de las teorías del marco de referencia. Los individuos continuamente enriquecen y modifican las teorías específicas tanto como interpretan observaciones y la información que reciben. Este proceso de modificación, de acuerdo con Vosniadou se llama cambio conceptual y puede involucrar desde la simple adición de nueva información hasta una estructura conceptual existente (enriquecimiento) o la revisión de creencias de teorías específicas. La modificación al nivel de teoría específica es probablemente el tipo de cambio conceptual que ocurre con mayor frecuencia en las situaciones de clase y es equivalente a la asimilación (Posner *et al.*, 1982) o captura

conceptual (Hewson, 1981). Una forma de cambio conceptual mucho más difícil dentro de la teoría de Vosniadou es la revisión de las presuposiciones fundamentales de la teoría global o de marcos de referencia (Venville y Treagust, 1996).

3. Una tercera perspectiva teórica de cambio conceptual es la perspectiva de categorías ontológicas que propusieron Chi *et al.* (1994) quienes dan a entender que muchos de los conceptos difíciles de aprender en ciencias requieren de un cambio, en la mente de los estudiantes, de una categoría denominada "materia" a otra denominada "procesos".

Chi *et al.* (1994) argumentan que las entidades en el mundo pertenecen a categorías ontológicas diferentes tales como "materia", "proceso" y "estados mentales". Sugieren que en la mente de los estudiantes, los conceptos científicos a menudo pertenecen a la categoría de materia, cuando en realidad son un tipo de proceso. Para que los estudiantes adquieran la concepción científica elegida, necesitan cambiar el estado ontológico de la entidad desde la categoría de materia a la categoría de proceso. Chi *et al.* (1994) llaman a este proceso cambio conceptual radical. Se afirma que los conceptos que no requieren el cambio de categoría ontológica son fáciles de aprender y aquellos que lo hacen son extremadamente difíciles. Por otra parte Chi *et al.* (1994) afirman que su teoría explica por qué hay un extenso volumen de resultados contradictorios que muestran ambas tendencias de aprendizaje en aumento para algunos conceptos y resistencia obstinada a aprender otros conceptos. El aprendizaje en aumento ocurre cuando las concepciones previas están en la misma categoría ontológica como las concepciones científicas aceptadas y la resistencia obstinada ocurre cuando las concepciones previas están en una categoría ontológica diferente. Chi *et al.* (1994) aseguran que el conocimiento de estas categorías permitirá a los profesores tomar decisiones de si es necesario utilizar explicaciones de marcos alternativos o si la enseñanza puede proceder sin hacer esto.

4. Desde la perspectiva motivacional de cambio conceptual, Pintrich *et al.* (1993) son los únicos en desafiar a los modelos convencionales de cambio conceptual resaltando las dificultades teóricas de lo que llaman un modelo de cambio conceptual "frío", o demasiado racional. Resaltan la importancia de la motivación y de los aspectos sociales requeridos para que ocurra el cambio conceptual. Uno de

los aspectos de la motivación de los estudiantes que Pintrich *et al.* (1993) discuten es la creencia que tienen los estudiantes sobre su capacidad de lograr la tarea. A esto le llaman "eficacia propia" y sugieren que un aspecto de enseñanza para el cambio conceptual sería aumentar la "eficacia propia" o la confianza de los estudiantes en su propio pensamiento y estrategias de aprendizaje.

1.6.1 Líneas de investigación del cambio conceptual

Como se ha visto el cambio conceptual ha sido abordado desde varias perspectivas teóricas. El avance en la investigación sobre el cambio conceptual continúa. Actualmente existen muchos trabajos que dan cuenta de este avance. La investigación sobre el cambio conceptual se resume en tres líneas principales:

1. Un enfoque psicológico en el cual se investiga la formación de modelos conceptuales, estructuras y habilidades cognoscitivas generalizables.
2. Un enfoque histórico que se apoya en las analogías en el estudio de momentos históricos para conocer las dificultades conceptuales que se presentaron.
3. Un enfoque epistemológico en el que se analiza la estructura del propio conocimiento científico para encontrar problemas específicos de orden conceptual que proporcionen nuevos elementos a considerar para las estrategias de enseñanza (Flores, 2000).

De manera particular y para los propósitos de esta tesis, se discute el uso de las analogías en la enseñanza de las ciencias como un medio para propiciar el cambio conceptual en los estudiantes.

1.6.2 Las analogías en el cambio conceptual

Los científicos utilizan analogías con frecuencia. De hecho a través de la historia de la ciencia, las analogías han desempeñado un papel importante en la explicación, comprensión y descubrimiento de los fenómenos naturales. Por lo tanto no es de sorprender que los profesores de ciencia y los autores de libros de texto las utilicen de manera rutinaria para explicar conceptos complejos a los estudiantes. A través de sus lecciones, especialmente cuando responden a preguntas de los estudiantes, el profesor introduce sus explicaciones con expresiones coloquiales tales como: "es como", "es lo mismo que", "no es diferente a", "piensa en ello como". En los libros de texto, los autores

usan expresiones más formales como "Similarmente", "de igual modo", "en comparación a" "en contraste con". Todas estas expresiones son formas de decir: "permíteme darte una analogía" (Glynn *et al.*, 1995). Desafortunadamente a veces las analogías son usadas en forma poco sistemática, causando con frecuencia confusión y errores conceptuales en los estudiantes e incluso a veces en los profesores. De acuerdo con Duit (1991) hay abundante evidencia empírica de que el uso de las analogías fallan a menudo porque los estudiantes:

- ◆ no comprenden la analogía correctamente y porque
- ◆ no son capaces de hacer las inferencias a partir de las analogías pretendidas.

La solución consistiría en tener cuidado en el uso de las analogías al explicar los conceptos fundamentales de manera que estos sean significativos a los estudiantes (Glynn *et al.*, 1995).

¿Qué son las analogías?

- ❖ Las analogías pueden verse como un proceso de identificación de similitudes y diferencias entre dos objetos o procesos para el propósito de explicación o inferencia.
- ❖ Una analogía puede ser vista como un enunciado de comparación de similitudes entre las estructuras de dos dominios (Duit, 1991).

1.6.2.1 Ventajas de la enseñanza con analogías

- ❖ De acuerdo con la visión constructivista del aprendizaje, las analogías son herramientas pedagógicas útiles para facilitar el proceso de construcción de los estudiantes, por medio de la unión de éstas con estructuras de conocimiento ya existentes (Duit, 1991).
- ❖ Las analogías pueden ser herramientas de descubrimiento: Kepler (Treagust *et al.*, 1996).
- ❖ Como herramientas para la explicación, las analogías son comunes en el lenguaje cotidiano y en el salón de clases a causa de su potencial para comparar eficientemente un objeto o situación con otra y, en el proceso, transferir ya sean detalles o información relacional o ambas (Treagust *et al.*, 1996).

- ❖ Pueden ayudar a visualizar lo abstracto apuntando hacia las similitudes en el mundo real (Duit, 1991; Venville y Treagust, 1996).
- ❖ Otro aspecto del uso de las analogías en el proceso de aprendizaje de acuerdo con Shapiro (1985) es que las analogías pueden hacer a la nueva información más concreta y más fácil de imaginar, por lo que pueden "aumentar el interés de los estudiantes en el asunto en cuestión" (Venville y Treagust, 1996) y por lo tanto motivarlos (Duit, 1991).
- ❖ Varios autores designan a las analogías como elementos importantes en la ecología conceptual del aprendiz (Strike y Posner, 1985) y como contribuidores viables para generar el aprendizaje de conceptos científicos específicos (Cosgrove, 1991; Treagust *et al.*, 1996).
- ❖ Cuando un profesor competente presenta analogías sistemáticamente, el resultado es que el aprendizaje del estudiante es compatible con las expectativas del profesor (Harrison y Treagust, 1993; Treagust *et al.*, 1996). La investigación ha mostrado que la efectividad de la enseñanza con analogías puede ser mejorada entrenando a los estudiantes en un razonamiento analógico (Treagust *et al.*, 1996).
- ❖ Forzan al profesor a tomar en cuenta el conocimiento previo de los estudiantes. El uso de las analogías puede también poner en evidencia errores conceptuales en temas ya enseñados (Duit, 1991).

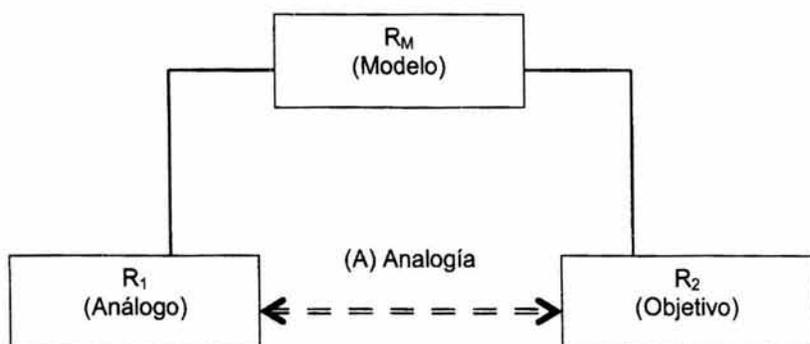


Figura I.1. Significado de la analogía
(Tomada de Duit, 1991)

Los tres recuadros de la figura I.1 simbolizan las representaciones (R_1 , R_2 y R_M). Puede haber rasgos idénticos en partes de estructuras de R_1 y R_2 . R_M representa esta identidad estructural. R_M es un modelo. Hay una relación analógica entre R_1 y R_2 . Es decir R_1 y R_2

son análogas con relación a la estructura presentada en R_M . Puede haber relaciones analógicas en diferentes niveles. Una analogía de primer nivel es aquella en la que R_1 y R_2 son representaciones de dos dominios de la realidad. Un rasgo importante de la relación analógica es que es simétrica, porque está basada en identidades de partes de estructuras. Los términos análogo y objetivo indican el propósito del uso de la analogía (Duit, 1991).

El papel de las analogías en el proceso de aprendizaje ha sido analizado desde diferentes perspectivas teóricas:

- Rumelhart y Norman (1981) citados por Duit (1991) han esbozado una perspectiva de teoría del esquema. Dentro de esta teoría, los esquemas son paquetes de conocimiento basado en procedimientos especializados que son empleados en la interpretación de eventos en nuestro ambiente. Hay tres tipos de aprendizaje: acreción, la codificación de nueva información en términos de esquemas existentes. En este tipo de aprendizaje no son desarrollados nuevos esquemas. Parece ser muy similar con el proceso de asimilación de Piaget. La generación de nuevos esquemas ocurre solamente en los otros tipos de aprendizaje llamados afinación o evolución de esquemas y reestructuración o creación de esquemas, aquí entran las analogías. Los nuevos esquemas son generados por analogía, transfiriendo estructuras desde análogos a objetivos. Estos tipos de aprendizaje aparentemente comparten rasgos principales con los del proceso de acomodación de Piaget (Duit, 1991).

- La "visión constructivista" se ha convertido en la perspectiva teórica que encabeza la investigación de la educación en ciencias. Las ideas de la visión constructivista son:
 1. El aprendizaje es un proceso de construcción activo, y
 2. El aprendizaje es accesible solamente sobre la base de conocimiento adquirido previamente. Por consiguiente, el aprendizaje es un proceso de emplear activamente lo ya familiar para comprender lo no familiar. Por lo tanto, el aprendizaje tiene que ver fundamentalmente con la construcción de similitudes entre lo nuevo y lo ya conocido. Es precisamente este aspecto el que enfatiza la trascendencia de las analogías en un enfoque de aprendizaje constructivista (Duit, 1991).

La visión constructivista del aprendizaje admite que gran cantidad del aprendizaje puede ser visto en términos de crecimiento conceptual, pero lo principalmente distinto en esta visión es que el aprendizaje con frecuencia no es solamente una cadena continua de alargamientos sino una nueva construcción total de lo ya conocido. Kuhn (1970) ha llamado a los procesos equiparables en la historia de la ciencia como "cambios de paradigma". En el campo del constructivismo, son discutidos bajo el encabezado de "cambio conceptual". Las analogías son importantes esencialmente en el aprendizaje por cambio conceptual en que pueden ayudar a reestructurar la memoria existente y prepararla para la nueva información. La naturaleza simétrica del análogo y el objetivo entran en juego aquí. Al emplear una analogía no simplemente ayuda o facilita el aprendizaje en un nuevo dominio, también abre nuevas perspectivas para mirar y por lo tanto, reestructurar el análogo. Utilizar una analogía es, por lo tanto, un proceso de "dos caminos" que involucra el desarrollo del análogo y del objetivo (Duit, 1991).

1.6.2.2 Modelo de enseñanza con analogías de Glynn y colaboradores

En el modelo de enseñanza con analogías, una analogía es extraída identificando similitudes entre dos conceptos. De esta forma, las ideas pueden ser transferidas desde un concepto familiar (llamado análogo) a uno no familiar (objetivo). Ambos tienen rasgos (también llamados atributos). Si el análogo y el objetivo comparten características comunes o similares, puede ser trazada una analogía entre ellos. La comparación sistemática, verbal o visual, entre los rasgos del análogo y el objetivo se llama mapeo. El análogo y el objetivo a menudo son ejemplos de un concepto superordinado (orden más alto o dominio cruzado). Por ejemplo: Librero es el concepto familiar (análogo) y el modelo de átomo de Bohr es el objetivo (Glynn *et al.*, 1995).

Una analogía efectiva pone nuevas ideas en términos familiares a los estudiantes.

Generalmente la efectividad de una analogía incrementa tanto como se incrementa el número de rasgos similares compartidos entre el análogo y el objetivo (Glynn *et al.*, 1995). Es posible sacar una buena analogía sobre la base de pocos rasgos similares, o aún con sólo un rasgo, si es directamente aplicable al objetivo de enseñanza. Por ejemplo, considere la siguiente analogía:

"La mayoría de las moléculas de carbohidratos pueden compararse a un tren de carga que está hecho de vagones conectados mano a mano. Las moléculas de carbohidratos son generalmente largas cadenas de azúcares simples unidas mano a mano. Llamamos a estas amplias moléculas de carbohidratos polisacáridos" (Glynn *et al.*, 1995). La analogía es simple; el tren y los vagones

corresponden a la molécula de carbohidrato y los azúcares, respectivamente. La analogía es efectiva porque delinea una descripción mental familiar (un tren de carga) en el concepto objetivo (una molécula de carbohidrato). La analogía ayuda a los estudiantes a visualizar rápidamente la estructura general de la molécula (Glynn *et al.*, 1995).

El valor de la enseñanza de una analogía disminuye si es difícil de identificar y trazar un mapa de los rasgos importantes compartidos por el análogo y el objetivo (Glynn *et al.*, 1995).

Es fácil sentirse agobiado por la literatura en este campo porque no importa cuanto se lea, aún es difícil responder a la pregunta ¿qué es el cambio conceptual? Pocos podrían argumentar que un cambio desde una visión newtoniana hacia una visión relativista de la mecánica o desde una visión geocéntrica hacia una visión heliocéntrica del mundo es un cambio conceptual radical (Venville y Treagust, 1996). La literatura reciente, sin embargo, cuestiona si los cambios radicales realmente ocurren. Por ejemplo Driver *et al.* (1994) sugieren que las "ideas previas" y las científicas coexisten y son usadas preferencialmente en diferentes contextos. La noción de cambio conceptual es más confusa cuando se considera el trabajo de Carey (1985) en donde describe como los niños empiezan con muy poco conocimiento y lentamente construyen una teoría de la Biología en un cierto número de años. ¿Podemos llamar a esta lenta construcción del conocimiento cambio conceptual? ¿Y qué de los cambios más pequeños que ocurren durante este periodo? ¿Cuándo el aprendizaje se vuelve cambio conceptual? (Venville y Treagust, 1996).

En resumen, las metas de la enseñanza de la ciencia son que los estudiantes adquieran el conocimiento científico para comprender los fenómenos y por ende el impacto en sus vidas dentro de una sociedad dominada por la tecnología (Duit, 1999).

La investigación de las representaciones conceptuales de los estudiantes ha revelado que estos llegan al salón de clases con ideas previas acerca de los conceptos científicos (Hashweh, 1986) y que incluso a veces estas ideas son totalmente opuestas a las aceptadas científicamente, por lo que es necesario un cambio conceptual si queremos que los estudiantes se desempeñen mejor durante su aprendizaje de la ciencia. De esta manera conocer las bases del constructivismo, de las ideas previas así como del cambio conceptual, ofrecen una herramienta para comprender porque los estudiantes tienen dificultad de integrar los conceptos científicos a su vida cotidiana; además de ayudar a proponer soluciones al problema educativo. En la visión constructivista del aprendizaje se asume que los estudiantes construyen su propio conocimiento utilizando el conocimiento

existente, y por ese motivo son capaces de ver el mundo en formas que son coherentes y útiles para ellos. En el proceso de construcción, los estudiantes desarrollan ideas previas sobre los conceptos científicos que son influidas por experiencias sociales (Solomon, 1987). Con frecuencia estas ideas difieren de las aceptadas científicamente. Aún más, son sorprendentemente resistentes al cambio. En este sentido el uso de las analogías ofrece una buena opción para propiciar el cambio conceptual en los estudiantes. También es importante tener en cuenta que las concepciones que tienen los alumnos no serán abandonadas con sólo escuchar al profesor en clase (Hashweh, 1986), sino que es necesario contar con propuestas didácticas fundamentadas en la teoría de cambio conceptual de Posner *et al.* (1982).

Nersessian (1989) señala que el cambio conceptual como ha sucedido en la historia de la ciencia provee un recurso valioso para comprender las cuestiones generales de reestructuración. Por su parte, algunos investigadores han notado paralelos entre las concepciones de los estudiantes en ciertos dominios y concepciones pre-científicas históricas. Otros han propuesto que la reestructuración requerida de los alumnos de ciencias es similar a la que ocurre en las revoluciones científicas (Nersessian, 1989). En este sentido sería interesante revisar la historia de la conceptualización de la célula con el propósito de ver si existen estos paralelismos con las ideas previas que manifiestan los estudiantes.

Finalmente el hecho de reconocer la necesidad de un cambio conceptual en los estudiantes también ha llevado al reconocimiento de la conveniencia de desarrollar nuevos materiales didácticos y textos más adecuados así como diseñar estrategias didácticas que permitan lograrlo (Flores, 2000).

Capítulo 2. Investigaciones realizadas en torno a las ideas previas sobre la célula en los estudiantes de Bachillerato

II.1 Investigación de las ideas previas

La investigación de las ideas previas de los estudiantes no se ha desarrollado de la misma manera en todas las ciencias. La disciplina con mayor número de investigaciones al respecto es la Física, ya que tan sólo para 1994 contaba con 914 trabajos referentes a las ideas previas de los estudiantes, mientras que en Biología sólo existían un poco más de 200 (Flores *et al.*, 2001), duplicándose esta cantidad cinco años después (Flores *et al.*, 2003). La situación actual no es muy distinta, Física continúa en la delantera con el mayor número de investigaciones referentes a las concepciones de los estudiantes, estando la mayor parte concentrada en el nivel bachillerato. No ocurre lo mismo en Biología, ya que del total de las investigaciones sobre las concepciones de los alumnos, la mayor parte corresponden al nivel de primaria y sólo una pequeña proporción al nivel de bachillerato (Flores *et al.*, 2001). No obstante, el hecho de que exista una mayor cantidad de publicaciones en Física, no necesariamente quiere decir que haya un mayor número de ideas previas en ella. En la base de datos de Flores *et al.* (2001) se constata que el número de ideas previas sobre los conceptos biológicos sobrepasa al de Física y Química, habiendo un total de 2623 ideas previas registradas en Biología, 1685 en Física y 929 en Química (<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>).

Por su parte Flores *et al.* (2003) basados en los registros de Pfund y Duit (1999), dieron a conocer el número de publicaciones y los temas cubiertos en la investigación de las ideas previas en Biología hasta el año de 1999, los temas son: Biología general (133), salud, enfermedad, aparatos y sistemas del ser humano (53), genética (48), evolución (43), célula (34), ecología (31), concepto de vida o ser vivo (28), fotosíntesis (27) y características y funciones de los animales (17). Aunque el número de publicaciones sobre estos temas ha ido en aumento, se considera que es necesario continuar las investigaciones sobre las ideas previas en torno a los conceptos biológicos, ya que de manera particular, existen algunos temas que no se han cubierto en su totalidad, provocando que las investigaciones se encuentren fraccionadas y que por lo tanto no se

logre profundizar en el conocimiento de modelos de pensamiento de los estudiantes, retrasando a su vez, el diseño de propuestas didácticas que permitan mejorar la enseñanza de la Biología (Flores, 2000).

II.1. 2 Investigación de las ideas previas en México

En nuestro país existen algunas dificultades que obstaculizan el desarrollo de la investigación de las ideas previas. Por un lado, de acuerdo con Flores (2000), los posgrados que se imparten no tienen el nivel suficiente para producir investigadores altamente competentes en este campo y por el otro, se encuentra el hecho de que muy pocos investigadores se dedican a indagar las ideas previas de los estudiantes. Esto conlleva al desconocimiento o –en el mejor de los casos- al conocimiento parcial de las características de las ideas previas de la población estudiantil mexicana (Flores, 2000). En este sentido, todo esfuerzo dirigido a poner de manifiesto las ideas previas de los estudiantes, debe ser considerado como una aportación valiosa para el desarrollo de este campo en nuestro país.

II.2 Problemática

Numerosos investigadores en enseñanza de las ciencias han constatado el hecho de que los estudiantes –de prácticamente todos los niveles educativos- no logran incorporar de una manera significativa los conceptos científicos. Sin duda pueden existir formas y métodos eficientes de enseñanza, destinados a que el alumno desarrolle ciertas habilidades, pero el problema fundamental reside en la forma cómo construyen sus representaciones de los conceptos científicos. Por lo que la solución a este problema debe buscarse en el propio sujeto que aprende porque es él quien construye sus representaciones conceptuales. El cómo los construye aún no tiene respuesta pero sin duda, las ideas previas son una herramienta que nos permite conocer el pensamiento de los estudiantes sobre los conceptos científicos. Desde el punto de vista de la forma de enseñar de los maestros, es importante señalar también que muchos profesores dejan de enseñar algunos temas, por considerarlos elementales y por consiguiente ya conocidos por sus alumnos (Durfort, 1998). Sobra decir que esto agudiza aún más el problema de la no incorporación de los conceptos científicos en el aprendizaje de los estudiantes. Sin duda estas deficiencias en la enseñanza y en el aprendizaje de la ciencia se suman al problema de las ideas previas y en conjunto se manifiestan en el hecho de que los estudiantes de niveles educativos avanzados siguen teniendo conocimientos que corresponden a niveles básicos de enseñanza (Durfort, 1998; Flores, 2000).

II.3 Propuesta para la solución del problema

Investigaciones procedentes de distintos trabajos acerca de las ideas de los estudiantes, han hecho notar que el concepto de célula es un concepto abstracto y por consiguiente difícil de comprender (Dreyfus y Jungwirth, 1988; Caballer y Giménez, 1993; Flores *et al.*, 2000). Tomando en cuenta esto, se puede esperar que la construcción de dicho concepto por parte de los estudiantes siga un proceso complejo en el cual para su enseñanza se recomienda tener presentes las ideas previas de los estudiantes. En ese sentido, el presente trabajo tiene como objetivo principal aportar una estrategia de enseñanza del concepto de célula, enmarcada dentro del enfoque constructivista. Se pretende que con la utilización de esta propuesta, los alumnos elaboren una representación general sobre la célula, la cual será la base para la construcción de otros conceptos de estructura y fisiología celular con mayor grado de abstracción.

Durante el desarrollo del presente capítulo se exponen los principales aspectos históricos sobre la célula y su culminación con la formulación de la teoría celular; también se describe la estructura celular y se proporciona información sobre los trabajos de investigación de las ideas previas en torno a la célula en estudiantes de secundaria y bachillerato.

II.4 Trabajos de investigación sobre las ideas previas de célula en los estudiantes de secundaria y bachillerato

Las ideas previas de los estudiantes de secundaria y bachillerato en torno al concepto de célula se encuentran en la página electrónica: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>
A continuación se muestran algunas contribuciones importantes en la investigación de las ideas previas de los estudiantes.

Secundaria

Caballer y Giménez (1992) indagaron el concepto de estructura celular de los seres vivos en alumnos de distintos niveles educativos, incluyendo el de secundaria. Comprobaron que los estudiantes al terminar la enseñanza obligatoria han asumido (en términos generales) que los seres vivos están formados por células, sin embargo un porcentaje no despreciable de alumnos duda de esto para el caso de los vegetales. En el caso de los estudiantes mayores, parece ser (por las contradicciones encontradas en sus respuestas) que el concepto no se ha interiorizado significativamente.

Un año más tarde las mismas autoras hicieron otras aportaciones importantes al trabajar con estudiantes de 13 y 14 años. Encontraron que la célula es entendida como una unidad viva, formadora de otros seres vivos, de aspecto redondeado tridimensional o plano. Sin embargo a la hora de aplicar este conocimiento, los estudiantes tenían fuertes contradicciones. Por otro lado constataron que los alumnos no lograron identificar a los organelos, ni a ninguna estructura celular interna, ni las funciones asociadas a estas estructuras. Además de que los estudiantes, en algunos casos atribuyen a la célula funciones de organismos "superiores", por ejemplo, sentir dolor o frío (Caballer y Giménez, 1993).

Por su parte Banet y Ayuso en 1998 publicaron un artículo en el que resumen algunas de las conclusiones puestas de manifiesto por distintos trabajos de investigación que han analizado la problemática que plantea la enseñanza y el aprendizaje de la Herencia biológica. Señalan que un número significativo de alumnos no conocen la estructura celular de los seres vivos (aspecto del cual dicen debe ser comprendido antes de iniciar los estudios sobre herencia biológica). También muestran que reiterados resultados de investigación indican que muchos piensan que son las células sexuales - y no cualquier otro tipo celular del organismo- las únicas portadoras de información hereditaria y genes y, con mayor motivo, de cromosomas sexuales. Sin embargo, los autores señalan que muchos estudiantes consideran que las distintas células de un organismo llevan información hereditaria relacionada con la función que desempeñan. Por otra parte los alumnos de secundaria afirman que los seres vivos que tienen reproducción sexual son, casi exclusivamente, los vertebrados, atribuyendo a las plantas mecanismos asexuales y no asocian a las flores con procesos sexuales para la perpetuación de los vegetales.

Bachillerato

En 1980 autores como Okeke y Wood evaluaron los niveles de comprensión de los conceptos de crecimiento, reproducción y mecanismos de transporte dentro de los organismos, en estudiantes de biología de 16 a 18 años, con el propósito de ver si mostraban pensamiento operacional concreto o pensamiento operacional formal. Encontraron que casi la mitad de los alumnos ya sea que habían fallado en mostrar pensamiento operacional formal o lo habían revelado sólo una vez. Menos del 5 % mostraron pensamiento formal en diez o más ocasiones. Se dice que el grado de comprensión de cualquier concepto está determinado por la etapa cognitiva en la que se encuentra el individuo. Entonces un concepto que requiere un pensamiento formal

operacional no puede ser dominado en un sentido analítico por un alumno que sólo ha alcanzado el nivel de pensamiento operacional concreto (Okeke y Wood, 1980).

Para el año de 1985, Friedler *et al.* identificaron las dificultades de los estudiantes de bachillerato en la comprensión de algunos conceptos y procesos relacionados con la osmosis. Entre sus hallazgos pueden contarse que los estudiantes poseen concepciones erróneas con respecto a los conceptos de soluciones, solubilidad, movimiento molecular, entre otras; por consiguiente estas concepciones erróneas podrían estar entre las razones para tener dificultades en comprender el proceso de osmosis y las relaciones osmóticas. Por otra parte encontraron que los estudiantes usan las definiciones de osmosis y difusión que vienen en los libros de texto sin una clara comprensión de los conceptos. También descubrieron que la teleología y el antropomorfismo son ampliamente utilizados entre los estudiantes. Finalmente evidenciaron que en el bachillerato los términos de potencial hídrico, potencial osmótico, presión osmótica y hemólisis son rara vez enseñados.

Por su parte Dreyfus y Jungwirth (1988) determinaron el nivel de conceptualización de la célula que prevalecía entre la población de estudiantes de 16 años. Encontraron que los alumnos no habían interiorizado algunos aspectos sobresalientes de la célula. Insistieron en que una de las dificultades para comprender a la célula como una entidad viva reside en el desconocimiento de los procesos físico-químicos y por ello recomendaron expresamente que estos contenidos sean revisados.

En 1989 Dreyfus y Jungwirth descubrieron que muchas concepciones prevalecen en los estudiantes porque funcionan socialmente y no científicamente en el salón de clases. Además señalaron que la introducción de los conceptos que no son significativos para los estudiantes lleva inevitablemente a la formación de ideas erróneas. Por lo tanto con el propósito de evitar la formación de éstas y su persistencia, sugirieron que se debe adoptar una propuesta de enseñanza mediante la cual un concepto pueda ser descrito por medio de sus atributos significativos y unirlos a otros conceptos relacionados.

En su trabajo sobre las representaciones de la respiración celular en los alumnos de Secundaria, Bachillerato y Universidad, García (1991) no encontró diferencias significativas entre los niveles estudiados, lo que le llevó a concluir que esto indicaría un mal planteamiento de la asignatura de ciencias naturales a lo largo del bachillerato, no haciendo progresar los esquemas de los alumnos. Además de que la instrucción escolar

no sólo no ha modificado las ideas previas sino que las ha reforzado. Para ello propone que se haga una reestructuración de los temas de manera que facilite la construcción de un modelo interpretativo global, del abandono del modelo clásico de enseñanza en el que hay una excesiva cantidad de detalles con los que se satura a los alumnos durante su aprendizaje y que se estudie el nivel celular como un "ente" aislado (García, 1991).

Fueron los estudios de Díaz y Jiménez (1996) los que abordaron el grado de precisión y de fidelidad con que plasman sus observaciones los alumnos de secundaria, bachillerato y magisterio, referidos a la morfología celular y organización tisular. Además indagaron en cada alumno la idea de célula como objeto tridimensional. En cuanto a los resultados que obtuvieron de las observaciones microscópicas, las autoras señalan que las causas de la dificultad de la tarea pueden deberse a varios factores entre los que destacan: la actitud con la que se enfrenta la tarea, las habilidades de cada alumno para dibujar, la forma como se obtuvo la muestra, la forma como se preparó la iluminación y el enfoque utilizado para realizar las observaciones. Pero también existen otras causas que tienen que ver con las destrezas de observación del estudiante, es decir la capacidad de reconocer las estructuras cuando cambia la orientación y las destrezas analíticas. Partiendo de estos resultados los autores recomiendan que se tenga presente el nivel de destrezas que poseen los estudiantes referentes a la interpretación de estructuras tridimensionales y a la realización de dibujos. Y que es necesario aclararle al estudiante que es lo que puede observar y que es lo que no podrá observar (Díaz y Jiménez, 1996).

Finalmente Flores *et al.* (2000) construyeron un modelo de representación de la célula a partir de las ideas previas y de los problemas conceptuales de los estudiantes de bachillerato. En su investigación confirmaron algunos de los aspectos que ya habían sido encontrados por otros autores y aportaron otros como el hecho de que los estudiantes:

- no comprenden los aspectos básicos de la célula y tienen dificultad en representar las dimensiones espaciales y métricas de la célula (Díaz y Jiménez, 1996), pues incluso llegan a confundirla con átomos y moléculas,
- muestran dificultad en comprender la relación entre las estructuras celulares y sus funciones (Caballer y Giménez, 1993) ya que no logran integrarlas como parte de un conjunto por lo que el estudiante no puede construir una visión integral de la célula,
- persiste en ellos la visión antropomórfica de la célula (esto les impide comprender los procesos y estructuras a nivel celular). Los estudiantes no logran establecer la diferencia

entre los procesos que se llevan a cabo en la célula de aquellos efectuados en los organismos multicelulares,

- no atribuyen el funcionamiento de los organismos multicelulares como el resultado de la actividad de las células que los constituyen (Caballer y Giménez, 1992),
- trasladan los procesos de los organismos multicelulares a los correspondientes procesos celulares,
- trasladan el ciclo de vida de los organismos macroscópicos para explicar el ciclo de vida de la célula,
- conciben a la célula como una entidad simple la cual no realiza las funciones básicas de los organismos multicelulares,
- no reconocen a la célula como una entidad con estructuras y funciones que la hacen independiente,
- aplican el concepto de organismo sólo a los seres multicelulares.

Como se puede inferir de lo anterior, el concepto de célula es un concepto difícil de comprender. Pese a su gran complejidad hay que recordar que se trata de un concepto fundamental en Biología, de hecho basta revisar la historia de su desarrollo para darnos cuenta de que la Biología se constituyó como ciencia a partir de la consolidación de la teoría celular y el reconocimiento de la célula como la unidad estructural y fisiológica de los seres vivos. Este proceso tomó 173 años de desarrollo, en el cual contribuyeron muchas investigaciones descriptivas, en primer lugar, e interpretativas en segundo; también se fueron operando cambios conceptuales y desechando visiones filosóficas que impedían su desarrollo conforme se descubrían nuevos elementos de análisis de la célula. Así surgió la teoría celular, la que inicialmente se acogió con bastantes reservas, pero a la postre se constituyó como un marco apropiado para el progreso posterior de la Biología (Ledesma, 2000).

Desde el punto de vista educativo valdría muy bien la pena ayudar a los estudiantes a comprender la célula teniendo presentes los cambios operados en la historia de la formulación del concepto y complementarlos con estrategias didácticas, fruto de las investigaciones sobre las ideas previas.

También es importante reconocer que la investigación de las ideas previas ha ayudado a ampliar el conocimiento que se tiene sobre ellas: elaborando modelos y planteando estrategias didácticas, pero con todo esto aún nos encontramos frente a un campo de investigación muy incipiente en México.

Capítulo 3. La célula: Un concepto científico

III. 1 Aspectos históricos del descubrimiento de la célula

La teoría celular llegó para satisfacer una búsqueda de mucho tiempo en la historia del pensamiento humano: la referente a encontrar cuál era la parte más pequeña que constituía a los seres vivos, el principio o la unidad fundamental para la organización y funcionamiento del cuerpo y en última instancia de la vida. De esta manera el concepto de célula y la teoría celular, tomaron en biología el lugar de lo que fue el *Arjé*, el elemento o del átomo en los presocráticos, los humores y su equilibrio con Hipócrates, la formación y transustanciación de los pneumas en Galeno, el liquor vital en el medievo, la sangre y su movimiento circular en Harvey, los espíritus animales en Descartes, el humus para Linneo, la fibra para Haller, las *moléculas orgánicas* para Buffon, las partículas mínimas de Maupertuis o los infusorios para Oken. Entendidos cada uno de ellos, como los factores que le daban razón a la vida (lo que cada quien entendía por vida en su momento) y que explicaban el funcionamiento del cuerpo. Así la teoría celular tuvo una base racional para su construcción, pero no fue sino hasta 1838 con el trabajo de Schleiden y Schwann en que se consolidaron todos los conocimientos sobre la célula y su papel en la constitución de los seres vivos, con lo cual apareció dicho concepto (Ledesma, 2000).

Así que la teoría celular llegó tras un largo proceso cuyo inicio se sitúa en 1665, con el descubrimiento de la célula por el científico inglés R. Hooke. En los 173 años que transcurrieron entre Hooke y Schleiden - Schwann, fueron múltiples las contribuciones realizadas en torno a la célula. En el denominado "período inicial de desarrollo de la teoría celular", se cosechó gran cantidad de información en torno a las células pero sin explicación teórica alguna (Ledesma, 2000). Fue durante el "período medio de desarrollo de la teoría celular" cuando, aunadas a las observaciones celulares, los científicos trataron de llegar a generalizaciones a partir de sus descubrimientos

(<http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).

Para comprender el contexto histórico en el que desarrollaron estos acontecimientos es importante exponer los conocimientos de la época y especialmente las diversas observaciones sobre las células, realizadas entre 1665 y 1839.

III.1.1 Visiones filosóficas: Mecanicismo y Vitalismo

En la etapa previa al siglo XIX, las visiones sobre el mundo estaban basadas en conceptos de carácter filosófico. No existía una construcción conceptual enmarcada en una estructura científica (Ledezma, 2000). En el "mecanicismo", los sistemas vivos se comparaban a las máquinas, cuyo conocimiento podía ser deducido del estudio de cada una de sus partes. Esta corriente de pensamiento sostenía que cualquier estructura material, por muy compleja que fuera, podía desmontarse en cada una de sus partes a fin de estudiarlas por separado. René Descartes fue uno de los máximos exponentes de esta visión. Propuso la denominada "duda metódica o cartesiana", que consistía en dudar permanentemente de las evidencias, sometiendo a la crítica recurrente todo conocimiento alcanzado. Esta corriente de pensamiento se conoce como racionalista, ya que confiaba plenamente en los métodos del razonamiento, como herramientas reveladoras de las verdades en los más diversos campos del conocimiento. Paralelamente con el despliegue de las propuestas racionalistas crecía otra corriente, el empirismo. Esta se apoyaba en los métodos experimentales. Por tanto, el esfuerzo, se fue volcando paulatinamente a fundamentar los conocimientos en la observación y la experimentación. De la asociación de las corrientes racionalista y empirista empezaron a tomar forma las primeras ideas sobre la constitución elemental de los seres vivos. La búsqueda de la estructura elemental se mantuvo fuertemente asociada con las posiciones vitalistas, las cuales suponían que cualquiera que fuera la estructura que caracterizaba la vida, debía además ser el resguardo de una "fuerza vital" oculta. Nacieron así los modelos que intentaban dar cuenta de la complejidad de la vida en la organización de unos pocos constituyentes básicos dotados de tal fuerza vital

(http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celmolec/)

III.1.2 Siglo XVII

Robert Hooke (1635-1703) realizó importantes contribuciones, principalmente en el campo de la física teórica y experimental (Singer, 1946;

http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celmolec/).

Sin embargo sus conocimientos se extendían a áreas tales como biología, astronomía, química, geología, arquitectura y tecnología naval (Ledezma, 2000;

<http://www.ucmp.berkeley.edu/history/hooke.html>). En 1665, este científico y microscopista inglés (Gomis, 1987; Johnson y Raven, 1996) realizó cortes muy finos del árbol de corcho adulto (Starr y Taggart, 2001), observó, con ayuda de uno de los primeros microscopios fabricados, espacios más o menos hexagonales limitados por paredes

gruesas (Savín, 1995), a los cuales se refirió como "poros", y que –de acuerdo a su apreciación- le daban a la superficie un aspecto semejante al de un panal de abejas (<http://www.ucmp.berkeley.edu/history/hooke.html>).

Estos diminutos compartimentos le recordaban a las pequeñas habitaciones en las que vivían los monjes (Johnson y Raven, 1996; Starr y Taggart, 2001), así que por derivación de la palabra *cella*, que en latín significa celda, los llamó *cellulae* que significa "aposentos pequeños" (Starr y Taggart, 2001). De ahí el origen del término biológico "célula", el que también puede derivarse del griego "kytos" que quiere decir "hueco o espacio" (Savín, 1995).

En palabras de Mariano Arnal, "los romanos asignaron el término *célula* a la celdilla de la abeja (nombre de cada una de las cavidades hexagonales llenas de cera de los panales de abejas). Para ellos *célula* era un diminutivo de *cella*, como celdilla lo es de celda. Usaban este diminutivo para denominar cualquier celda o recinto pequeño, especialmente para animales. La *cella* de la que deriva la palabra celda no es en latín estrictamente una celda, sino una despensa. Posteriormente se extendió el significado de esta palabra a otros lugares que se destinaban para habitación, sin ser esa su función original. Por lo tanto el significado verdadero es el de despensa" (que en español terminó en la palabra *silo*) (<http://www.elalmanaque.com/Ecología/célula.htm>). Silo es un "lugar subterráneo y seco o construcción adecuada en donde se guarda el trigo u otras semillas o forrajes" "Depósito cilíndrico que, cargado por su parte superior, se vacía por la inferior y sirve para almacenar granos" (García, 1995).

Es evidente que lo que Hooke observó eran las paredes de celulosa de células muertas (Ville, 1988). Sin embargo no se imaginó que estuvieran muertas ya que ni él ni otro en aquel tiempo sabían que las células podrían estar vivas (Starr y Taggart, 2001). Observó el mismo patrón en los tallos y raíces de zanahoria (Johnson y Raven, 1996), en la superficie de las hojas de la ortiga (Singer, 1946), en la madera y en otras plantas (<http://www.ucmp.berkeley.edu/history/hooke.html>). En plantas vivas identificó un "jugo" en el interior de dichas celdas, que interpretó como parte del sistema de circulación de savia (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/).

En ese mismo año publicó su libro "Micrographia or some physiological descriptions of minutes bodies made by magnifying glasses" (Gomis, 1987), el cual constituye un documento detallado de sus observaciones, con dibujos de gran precisión. En 1667 comunicó sus observaciones a la Royal Society de Londres. Sus descubrimientos, sin embargo, no obtuvieron en su momento mayores comentarios ni interés por parte de los naturalistas, aunque se seguía buscando la mínima estructura dotada de vida (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/).

Paralelamente a Hooke, el italiano Marcello Malpighi (1628-1694), y el inglés Nehemiah Grew (1641- 1712) (Duchesneau, 1992), cada quien por separado, estudiaron la estructura de los órganos vegetales e hicieron innumerables observaciones con ayuda del microscopio. Las contribuciones más voluminosas de Malpighi son sobre la anatomía de las plantas. Se dice que estaba perfectamente familiarizado con las formas de las células (Singer, 1946). En 1671 señaló la existencia de utrículos y sáculos en la anatomía de las plantas; por su parte Grew refiriéndose a las mismas estructuras, les dio el nombre de vesículas o vejigas (Gomis, 1987), diferentes denominaciones para lo que Hooke llamó células (Ledesma, 2000). Las observaciones y descripciones de Malpighi y Grew se ubican en el campo de la organografía, es decir de la descripción morfológica, pero de ninguna manera llegaron a la generalización conceptual de la célula como unidad (Ledesma, 2000).

Durante los años restantes del siglo XVII y XVIII se progresó muy poco en el conocimiento de la célula. Las ideas dominantes en aquel entonces eran las que consideraban a la fibra como el elemento donde residía la fuerza vital, en lo estructural como en lo funcional (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/) y como la estructura constitutiva de los tejidos (Gomis, 1987). Así que simultáneamente coexistieron las ideas de células de Hooke, de fibras de Albrecht von Haller, 1708-1777) (Coleman, 1983) y de vesículas o utrículos de Malpighi.

Por su parte, el científico y tallador de lentes holandés, Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) (Johnson y Raven, 1996; Ledesma, 2000), en 1632 mejoró notablemente el tallado y pulido de las lentes ópticas. Con un microscopio manual observó por primera vez, bacterias, protozoarios y espermatozoides, a los que denominó "animáculos" (Ledesma, 2000) o animales diminutos (Johnson y Raven, 1996). De ellos se expresó así: "muchos animáculos muy pequeños, cuyos movimientos eran muy agradables para contemplar" (Starr y Taggart, 2001). Estas observaciones fueron recibidas con admiración por el resto de los naturalistas, pero carentes de importancia para la reflexión científica (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/). Ni él mismo ni sus contemporáneos correlacionaron sus observaciones del mundo microscópico con la existencia de unidades elementales de la vida. Si bien estos hechos demostraron que el mejoramiento de la calidad de las lentes no condujo directamente al establecimiento de la teoría celular (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/) estos, sin embargo, abrieron el debate de la generación espontánea a nivel microscópico, aunque no el de la unidad viva (Ledesma, 2000).

A finales del siglo XVIII convencidos de que la naturaleza de la materia era infinita y que detrás de cada estructura última debía haber otra más elemental, a la cual pudiera ser reducida la primera, esa búsqueda no se detuvo y llevó a la pregunta ¿de dónde proceden las fibras? La observación al microscopio de ciertas estructuras globulares, dio una primera respuesta. Nació así la idea del glóbulo y el establecimiento de la corriente "globulista" complementaria de la teoría fibrilar

(http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/). Los globulistas basaron sus ideas en las observaciones de Marcello Malpighi (1628-1694) y Anton van Leeuwenhoek (1632-1723). No pretendían reemplazar a la fibra como constituyente fundamental de la vida, sino que simplemente encontraron en las estructuras globulares, llamadas "granuli globuli" por Malpighi y "glóbulos protusados" por Leeuwenhoek, el origen de las fibras a las que seguían considerando portadoras de la fuerza vital. El naturalista alemán Hempel afirmaba en 1819 que los glóbulos daban lugar a las fibras, y que los glóbulos, a su vez, tenían su origen en un líquido indiferenciado. De esta manera este pensador cerraba el círculo de los orígenes de la estructura viva, partiendo de la homogeneidad de un líquido a la diferenciación en glóbulos y el posterior ensamblado de los mismos formando las fibras. Para esa misma época -principios del siglo XIX- la teoría fibrilar empezó a ceder terreno a la teoría globular, siendo esta, el primer acercamiento a la teoría celular moderna. En forma lenta, las posturas vitalistas fueron quedando relegadas.

III.1.3 Siglo XIX

Hacia principios del XIX, surgió en Alemania, una corriente filosófica denominada *Naturphilosophie* (Filosofía de la naturaleza) que tuvo gran impacto en Europa (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/). Lorenz Oken (1779 -1851) fue uno de los más destacados hombres de este movimiento filosófico, quien ya en 1805 había intuido que los seres vivos estaban formados por unidades. Concibió a los organismos macroscópicos como constituidos por la fusión de seres primitivos similares a los "infusorios". Estos, según Oken, habían perdido su individualidad en favor de una organización superior. También supuso que estos organismos microscópicos debían ser esféricos debido a consideraciones exclusivamente estéticas y en el convencimiento de que debía mantener cierta correspondencia con la forma del planeta. Aunque las consideraciones de Oken fueron sólo especulativas, sin duda prepararon el terreno para el surgimiento de la teoría celular, ya que proveyeron un marco teórico para interpretar las observaciones microscópicas

(http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/).

Por otra parte, los descubrimientos en torno a la célula iban aumentando. Así el médico y botánico escocés Robert Brown (1773-1858), en 1831, al trabajar con células de la epidermis de la flor de las orquídeas, descubrió un corpúsculo contenido en la sustancia "mucilaginosa" que llenaba a las células, al que llamó núcleo (diminutivo de *nux, nuez*) (Savín, 1995; <http://escuela.med.puc.cl/publ/HistoriaMedicina/SigloXIXTeoriaCelular.html>). Sin embargo Brown fue el primero en reconocer al núcleo como elemento básico de la estructura vegetal (Gomis, 1987). Para 1836, Jan Evangelista Purkinje (1787-1869) y Gabriel Gustav Valentín describieron el núcleo animal. Y un año más tarde, Henle observó células nucleadas en los tejidos humanos. Más adelante Dumortier describió la división celular en algas (Ledesma, 2000).

En 1835 el zoólogo Félix Dujardin (1801-1860) descubrió -en el interior de las células- una sustancia homogénea, elástica, contráctil y gelatinosa, a la que en 1841 denominó "sacorda" (Savín, 1995), hecho en el que fue precedido por el naturalista francés, Henri Joachim Dutrochet (1776-1847). En 1824 al hervir un tejido en ácido nítrico, observó que "liberaba vesículas completas", a las cuales denominó "glóbulos". El glóbulo era considerado como la pieza fundamental del organismo (Ledesma, 2000). Dutrochet y Francois-Vincent Raspail (1794-1878) expusieron la tesis de la unidad de estructura "utricular" o "vesicular" de los vegetales y los animales (Duchesne, 1992) la cual constituyó el primer antecedente de la teoría celular, asignando a las células (que todavía recibía diferentes nombres tales como utrículos, vesículas o glóbulos) un carácter de unidad estructural y fisiológica de los organismos. Es en esa época cuando el movimiento globulista llegaba a su fin (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celomolec/).

En 1835, Gabriel Valentín, describió el nucleolo y un año después introdujo el término "parénquima" para referirse a la sustancia situada entre el núcleo y la pared de la celdilla (<http://escuela.med.puc.cl/publ/HistoriaMedicina/SigloXIXTeoriaCelular.html>). Por su parte en 1840, el médico checo Jan Evangelista Purkinje (1787-1869) introdujo en zoología el término "protoplasma" (Gomis, 1987) en sustitución del término "sacorda". Sin embargo fue Hugo von Mohl (1805-1872) quien lo generalizó al introducirlo en botánica en 1846 (Gomis, 1987; Ledesma, 2000). El autor Mariano Arnal puntualiza que "con el descubrimiento del protoplasma quedó asentado el concepto de célula como una despensa bien provista, hasta llegar a la conclusión de que la sustancia de la célula no eran las paredes de la despensa (que podían faltar), sino su contenido" (<http://www.elalmanaque.com/Ecología/célula.htm>).

Todas estas contribuciones fueron muy importantes para el establecimiento de la teoría celular, sin embargo no van más allá del aspecto puramente descriptivo. Pero, como se

verá más adelante en este mismo capítulo, fue en Alemania donde se formalizó una verdadera teoría celular.

Como puede observarse, hacia la década de 1830, ya se habían establecido los progresos fundamentales que llevaron al surgimiento de los dos primeros postulados de la teoría celular. Se había descubierto la organización celular de los vegetales y de ciertos tejidos animales, se había identificado el núcleo en las células vegetales y se había descubierto en el interior de las células una sustancia a la que se asignaba el carácter de "materia viva": el protoplasma ¿Qué más faltaba para considerar a estos descubrimientos una verdadera teoría celular? Quedaban todavía dos aspectos fundamentales que aún no estaban teóricamente resueltos. En primer lugar, la generalización de la existencia de las células para explicar la organización del mundo vivo y, en segundo lugar, la determinación del origen de dichas células.

Aunque para algunos autores la formulación de la teoría celular ya había sido fijada en sus aspectos fundamentales, el mérito de Schleiden (1838) y Schwann (1839) fue el de exponer de manera precisa que la célula era la unidad morfo-funcional de los seres vivos (Gomis, 1987). Así que la construcción de la teoría celular no sólo consistió en la acumulación de observaciones microscópicas; sino que fue el marco conceptual sembrado por la visión de Lorenz Oken y el importante descubrimiento de Robert Brown (Ledesma, 2000).

III.2 Formulación de la teoría celular

El primer paso en la generalización e interpretación de las observaciones de las células fue dado por el botánico alemán Matthias Jacob Schleiden (1804-1881), mismas que expuso en su trabajo "Contribuciones a la fitogénesis" (*Beiträge zur Phyto-genesis*) en 1838 (Coleman, 1983).

Sus aportes a la teoría celular pueden resumirse de la siguiente manera:

- 1) La célula es la unidad elemental que constituye la estructura de las plantas (Ledesma, 2000).
- 2) El crecimiento de las plantas se produce mediante la generación de células nuevas. El crecimiento de los órganos leñosos, se debe a la coagulación de un líquido que origina la formación súbita de tejido celular (Ledesma, 2000).
- 3) El origen de las células se reduce a la gemación del núcleo (citoblasto) de una célula preexistente (Gomis, 1987). La célula se origina por diferenciación de una masa gelatinosa compleja, a través de un proceso que inicia con la aparición de un nucleolo, alrededor del cual se organiza el núcleo celular (que él llamó citoblasto) y sobre este

Último aparece una vesícula que crece paulatinamente, para dar lugar a la célula adulta. Esta idea fue refutada en la década de 1850 por Robert Remak (1815 -1865), Rudolf Virchow (1821–1902) y Alberto Kölliker (1817–1905), quienes mostraron que las células se forman a través de escisión celular preexistente (<http://148.216.10.83/biologiaQFB1/teoria celular.htm>). También consideró que la reproducción celular se producía en forma de yuxtaposición donde una célula se generaba "dentro" de otra (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celulomolec/; Ledesma, 2000).

Como se deduce de lo dicho, sólo la primera es totalmente cierta mientras que la segunda y la tercera son erróneas. Sin embargo, lo que importaba fundamentalmente para el establecimiento de la teoría era el hecho de que, según la opinión de Schleiden, toda explicación sobre el origen y desarrollo de una planta debía ser "reducida a la teoría celular" (Ledesma, 2000).

Por su parte, la contribución del gran fisiólogo y morfológico alemán Theodor Schwann (1810-1882) a la teoría celular no sólo consistió en extender al campo de los animales los descubrimientos hechos por Matthias Schleiden en las plantas, sino también en formular un principio acerca de la generación de las células en los seres vivos. Todavía no se había descubierto la división celular, caracterizada por el proceso de división del núcleo (cariocinesis) seguido de la división del citoplasma (citocinesis), pero uno de los objetivos de Schwann era demostrar que cada célula y los tejidos que éstas formaban tenían vida propia. Pretendía probar que el organismo era, simplemente, el resultado de una asociación celular (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celulomolec/).

En el siguiente relato, Schwann describió cómo le surgió la idea de demostrar el papel del núcleo en los animales: "Un día en que cenaba con M. Schleiden, este ilustre botánico me señaló el papel importante que juega el núcleo en el desarrollo de las células vegetales. Me acordé de inmediato de haber visto un órgano similar en las células de la cuerda dorsal, y comprendí en el mismo instante la suma importancia que tendría mi descubrimiento si llegaba a demostrar que en las células de la cuerda dorsal este núcleo juega el mismo papel que el núcleo de las plantas en el desarrollo de las células vegetales"

(http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celulomolec/).

Sus aportes a la teoría celular fueron los siguientes:

- 1) Concluyó que todos los animales estaban formados por células (Savín, 1995; Johnson y Raven, 1996).
- 2) Sostuvo que el núcleo era el factor de explicación de la naturaleza de los diferentes tejidos animales.

- 3) Retomó la idea de Schleiden sobre la generación de las células a partir del núcleo. Según Schwann, este proceso ocurría así: en una sustancia sin estructura (Coleman, 1983) o un "humor orgánico" (citoblastema) (Gomis, 1987), se forman primero los núcleos, luego, alrededor de ellos, las celdillas, por un proceso gobernado por leyes físicas que rigen la agregación de moléculas del citoblastema (una especie de cristalización) (<http://escuela.med.puc.cl/publ/HistoriaMedicina/SigloXIXTeoriaCelular.html>). Creía que este proceso ocurría fuera de las células preexistentes mientras que Schleiden postulaba la formación intracelular de células nuevas (Coleman, 1983).

Con toda su capacidad, Schleiden y Schwann se equivocaron en lo referente al tercer postulado, la unidad de origen. Esta es una muestra más de que la observación y la experimentación no bastan para generar los conceptos biológicos, siendo la biología una construcción racional (Ledesma, 2000).

Del producto de las observaciones de ambos científicos, en 1839 Schwann publicó su trabajo titulado "Investigaciones microscópicas sobre la coincidencia de los animales y las plantas en la estructura y el crecimiento" (*Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Structur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen*) (Coleman, 1983), donde acuñó el término *zellentheorie*, es decir teoría celular (Ledesma, 2000). Con este tipo de investigaciones, Schleiden y Schwann buscaban explicar el origen de los animales y vegetales por "principios mecánicos, sin la intervención de "fuerzas inmateriales", ya que ambos rechazaban la idea vitalista y consideraban que la explicación del mundo natural debía restringirse a una explicación de tipo mecanicista fundada en la experimentación y la observación (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/).

Hasta ese momento, todavía no se había universalizado suficientemente la idea de que la célula era la unidad básica de vida. Sin embargo, la nueva teoría sirvió como marco general para un extenso y fecundo programa de investigación en fisiología y anatomía que ganó a los círculos médicos de la época (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/).

En términos de la estructura de la ciencia, podemos percatarnos que después de la revolución científica operada por Schleiden y Schwann, surgió una etapa de rápida acumulación de información, pero ya bajo la tutela de un paradigma, todos los descubrimientos y aportaciones ya no eran contradictorios, sino que poseían congruencia.

Esta etapa de ciencia normal, fue consecutiva al periodo de ciencia extraordinaria que condujo al primer enunciado de la teoría celular (Ledesma, 2000).

III.2.1 Conclusiones de Schleiden y Schwann para la conformación de la teoría celular

- a) Los animales y vegetales están constituidos por células y productos celulares, ya sean células simples o en asociación (Gottfried, 1993; Ledesma, 2000; <http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).
- b) Las células se forman por diferenciación de una sustancia fundamental (blastema) que conduce a la formación del núcleo (citoblasto), fuera de células (Schwann), o bien en el interior de ellas de manera endógena (Schleiden) (Ledesma, 2000).
- c) Toda célula posee la capacidad de tener vida independiente y aunque cada una de ellas es influida e influye en sus vecinas; la vida del organismo depende del funcionamiento y control de cada una de ellas (Ledesma, 2000; <http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).

Con lo anterior se formuló el siguiente enunciado "Las células son organismos, y los animales y las plantas son agregados de estos organismos, arreglados de acuerdo con leyes definidas" (Savín, 1995). A partir de ese momento "el organismo se convertía en un estado celular, una colectividad en la que cada célula era un ciudadano" y se consideró que las diferentes células de un organismo adoptaban tipos distintos y cumplían funciones diferentes según el tejido que formarían (Ledesma, 2000).

III.2.2 La división celular nuclear

Aunque para esa época la idea de la célula como unidad orgánica y funcional ya estaba establecida, quedaban en la penumbra los procesos por los cuales se producía la generación de nuevas células

(http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celulomolec/).

La siguiente aportación significativa a la teoría celular la hizo el médico, patólogo, fisiólogo y también estadista alemán Rudolph Virchow (1821-1902) (Savín, 1995; Johnson y Raven, 1996; Starr y Taggart, 2001), quien dos décadas más tarde descifró el problema del origen de las células. Concluyó que toda célula tenía su origen en otra preexistente, al comprobar que las células de los tejidos enfermos provenían de células normales (Gomis, 1987). En 1858 publicó sus observaciones en su libro titulado "Patología celular" (Savín, 1995), en donde consideró a la célula como la unidad básica metabólica y estructural (http://148.216.10.83/biologiaQFB1/teoria_celular.htm).

Como puede leerse en una cita famosa de Virchow: "También en patología podemos establecer el principio general de que no existe creación de novo, de que no podemos demostrar, tanto en la evolución de los organismos completos como en la de los elementos particulares, la generación espontánea. [...] negamos en la histología fisiológica o patológica la posibilidad de formación de una nueva célula a partir de una sustancia no celular. Dondequiera que se origine una célula, allí tiene que haber existido previamente otra célula (omnis cellula e cellula), lo mismo que un animal sólo puede provenir de un animal y una planta de otra planta".

Con esta aportación quedó establecido que la célula no sólo era la unidad anatómica y fisiológica, sino la unidad de origen de todos los seres vivos (Ledesma, 2000). Además se cuestionó la extendida idea de que la vida surgía por generación espontánea (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celulomolec/).

III.2.3 Finalmente los Postulados de la Teoría Celular

Las observaciones de Schleiden, Schwann y Virchow constituyen lo que actualmente se conoce con el nombre de teoría celular, la cual está conformada por tres principios:

1. Todos los organismos están compuestos de una o más células (Gottfried, 1993; Salisbury y Ross, 1994; Johnson, 1996; Starr y Taggart, 2001). La célula es la unidad básica de estructura y función en un organismo multicelular (<http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).
2. La célula es la forma de vida más pequeña (Gottfried, 1993; Salisbury y Ross, 1994; Johnson, 1996; Starr y Taggart, 2000; <http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html>).
3. Todas las células provienen de células preexistentes (Gottfried, 1993), o dicho de otra forma, la continuidad de la vida surge directamente del crecimiento y división de células individuales (Starr y Taggart, 2001).

III.3 Descubrimientos posteriores a la formulación de la teoría celular

A partir del momento en que la célula fue considerada la unidad fundamental de la vida, aumentó el interés por estudiarla. El perfeccionamiento de los microscopios y de las técnicas de tinción permitieron el rápido avance de las observaciones y descripciones celulares. Hacia finales del siglo XIX, se identificaron los principales organelos, evidenciando la complejidad del citoplasma muy alejada de la simpleza que le otorgaban los primeros citólogos calificándolo de masa protoplasmática homogénea (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celulomolec/). En 1897, se introdujo el término ergastoplasma -retículo endoplásmico-. La mitocondria fue nombrada así por Carl

Benda (1857–1933) en 1898, el mismo año en que Camillo Golgi (1843–1926) descubrió el organelo que lleva su nombre (http://148.216.10.83/biologiaQFB1/teoria_celular.htm), lo observó como grumos densos cercanos al núcleo, con ciertas características químicas como la presencia de abundantes lípidos, que se tiñen con sales de plata (Savín, 1995). Aunque otros investigadores como Otto Bütschli en 1875 y Rober Remak en 1880, realizaron importantes observaciones de la forma como ocurría la división celular, los aportes fundamentales en este aspecto los hizo Walther Flemming (1843-1905). El protoplasma no era la única estructura que parecía tener una apariencia heterogénea. En 1879, Walther Flemming empleando colorantes rojos -la hexomatina teñía de negro solamente el núcleo-, tiñó unos pequeños gránulos que estaban en el interior del núcleo y los llamó cromatinas (griego = color). Fue el primero en observar y describir el comportamiento de los cromosomas en el núcleo celular durante la división normal de la célula (http://148.216.10.83/biologiaQFB1/teoria_celular.htm). Flemming concentró su interés en el estudio del núcleo celular y fue quien denominó "cromatina" a la sustancia que ocupa el interior del mismo, debido a la tendencia de este material de fijar ciertos colorantes y de esta forma diferenciarse del resto del contenido celular. Pero el aporte fundamental de Flemming fue la descripción de la mitosis y la identificación de los cromosomas. Pronto se estableció que cada especie tenía un número de cromosomas que era característico de la misma y el hecho de su reducción a la mitad durante la generación de gametos. Se había descubierto, de ese modo, la meiosis. A partir de ese momento el estudio del núcleo celular, y en particular de los cromosomas, tomarían cada vez mayor importancia (http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/).

III.3.1 Repercusiones de la teoría celular

En el siglo XIX, la teoría celular que inicialmente se acogió con bastantes reservas, causó un gran impacto teórico (Ledesma, 2000). Produjo un marco apropiado para el progreso posterior de la biología celular, al presentar a los biólogos algo uniforme y coherente en donde fundamentar sus estudios sobre la célula. Con ella, la investigación de la biología celular cambió para siempre, llevando las investigaciones hacia el terreno de lo microscópico (http://148.216.10.83/biologiaQFB1/teoria_celular.htm). Cuando la teoría celular fue formulada, los científicos desecharon la idea de la generación espontánea, que afirmaba que los seres vivos provenían de lo no vivo. Reconocieron que la vida provenía directamente del crecimiento y división de las células. También otorgó una explicación lógica sobre como pudieron haber evolucionado los organismos multicelulares a partir de formas unicelulares (Gottfried, 1993);

<http://www.deguate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).

El establecimiento de la teoría celular tuvo otras repercusiones importantes. Virchow encontró que las enfermedades de los organismos eran el resultado de los trastornos que ocurrían en ciertos grupos celulares, con lo que se ubicó a los procesos patológicos en el marco de la teoría celular. De acuerdo con Savín (1995) Albert Kolliker aplicó esta teoría a la embriología y demostró que el espermatozoide y el óvulo son células originadas en los tejidos y que el encuentro de ambos produce la célula huevo o cigoto, de la cual se forma un nuevo organismo.

Por su parte el autor Mariano Arnal expresa "Con la consolidación de la teoría celular, quedó completa la visión de la célula como una pequeña despensa provista de reservas vitales, muy parecida a una celdilla de panal de abejas, tanto por su forma como por su función. Esta definición ha ido variando desde que se tuvo la primera intuición de la estructura celular de la materia viva hasta hoy. Se ha hecho ya tan complicada la definición de célula a partir de su constitución, que se ha preferido definirla como la "unidad estructural fisiológica y genética de los seres vivos", dotada de vida propia, pasando por alto su forma y naturaleza. Antes se había definido como porción de protoplasma que encierra en su interior un corpúsculo peculiar y esencial llamado núcleo. Obsérvese que en ninguna de las dos está ya la celdilla que dio origen al nombre. Donde sí en cambio está presente el nombre con todo su significado es en la celulosa. Es por su puesto un derivado de célula, que se asignó a una materia que se presentaba en la forma mas pura que se da en la naturaleza la celdilla sin protoplasma, es decir la construcción sin nada dentro. Se trata de la pelusilla de la semilla de algodón (de enorme interés industrial). En general se llama celulosa a toda materia vegetal desprovista de protoplasma. Y el celuloide, otro derivado de célula, se llama así porque se obtiene de la nitrocelulosa. Por su composición, esta palabra tendría que significar "de aspecto celular" o de celdillas, pero parece que el nombre se refiere tan sólo a su origen" (<http://www.elalmanaque.com/Ecología/célula.htm>).

Para finalizar se pueden recordar las palabras de Ernest Haeckel, quien en 1904 sostenía: "desde mediados del siglo XIX la teoría celular se considera como una de las teorías biológicas de mayor peso; todo trabajo anatómico e histológico, fisiológico y ontogénico se debe apoyar sobre el concepto de célula como sobre el de organismo elemental". Así fue como se valoró el impacto de la teoría celular en los inicios de la Biología como ciencia (Ledezma, 2000).

Desde el punto de vista educativo se considera conveniente que en la enseñanza de la célula se tomen como base los cambios operados durante su conceptualización en la historia y complementarlos con la implementación de estrategias didácticas efectivas.

Tabla III.1 Resumen de los aspectos históricos en torno a la célula

SIGLO XVII

1665 Hooke usó un microscopio primitivo para describir "poros pequeños" en secciones de corcho que llamó "células" (Alberts *et al.*, 1997; <http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html>)

1674 Leeuwenhoek reportó su descubrimiento de protozoarios. En **1683** observó bacterias por primera vez (Alberts *et al.*, 1997; <http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html>)

SIGLO XIX

1830 Meyen, Franz sugirió que cada célula vegetal es independiente, aislada y capaz de construir sus propias estructuras (Alberts *et al.*, 1997; Ledesma, 2000).

1833 Brown publicó sus observaciones microscópicas de orquídeas, describiendo claramente el núcleo celular (Alberts *et al.*, 1997).

1837 Dutrochet reconoció que sólo las células que contienen materia verde son capaces de absorber el dióxido de carbono (Alberts *et al.*, 1997). Reconoció que todos los tejidos están hechos de células.

1838 Schleiden y Schwann propusieron la teoría celular, manifestando que la célula nucleada es el bloque de construcción universal de los tejidos de las plantas y animales (Alberts *et al.*, 1997).

1857 Kölliker describió a las mitocondrias en células de músculo (Alberts *et al.*, 1997; <http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html>)

1879 Flemming describió los cromosomas durante la mitosis en células animales (Alberts *et al.*, 1997)

1881 Cajal y otros histólogos desarrollaron métodos de tinción que revelaron la estructura de las células nerviosas y la organización de tejido neural (Alberts *et al.*, 1997)

1882 Koch usa pigmento de anilina para identificar las bacterias causantes del cólera (<http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html>).

1898 Golgi, Camilo. Médico italiano, observó por primera vez y describió el cuerpo de Golgi mediante la coloración de las células con nitrato de plata (Alberts *et al.*, 1997; <http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html>).

SIGLO XX

1902 Boveri relacionó a los cromosomas con la herencia mediante la observación de su conducta durante la reproducción sexual (Alberts *et al.*, 1997).

1931 Ruska construyó el primer microscopio electrónico de transmisión (<http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html>).

1952 Palade, Porter y Sjostrand desarrollaron métodos de microscopía electrónica que permitieron observar por primera vez muchas estructuras intracelulares. En una de las primeras aplicaciones de estas técnicas, **Huxley** mostró que el músculo contiene arreglos de filamentos de proteína- la primera evidencia de un citoesqueleto (Alberts *et al.*, 1997).

1957 Robertson describió la estructura de bicapa de la membrana celular, vista por primera vez en el microscopio electrónico (Alberts *et al.*, 1997). La introducción del microscopio electrónico en Biología reveló innumerables detalles de las ultraestructura celular.

1965 Primer microscopio de barrido comercial.

III.4 La célula: La unidad fundamental de los seres vivos

Con el establecimiento de la teoría celular se aceptó que todos los seres vivos estaban formados por células. De acuerdo con este razonamiento, ningún organismo sería considerado un ser vivo si no constaba al menos de una célula (<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>). Por tanto, la célula se definió como la unidad de vida más pequeña de un organismo, con existencia independiente y capacidad reproductora (Gottfried, 1993). Aunque los virus realizan muchas de las funciones propias de la célula, carecen de vida independiente, capacidad de crecimiento y reproducción, propias de las células y, por tanto, no se consideran seres vivos (Savín, 1995).

Otro aspecto referente a las células, es que debido a que las funciones globales del organismo están determinadas por las funciones de todas las células en conjunto, todos los fenómenos que ocurren en los seres vivos tienen que ser comprendidos a nivel celular. Por ejemplo para comprender cómo funciona el cuerpo humano, cómo se desarrolla y envejece y qué falla en caso de una enfermedad, es imprescindible conocer las células que lo constituyen (<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>). Así mismo, para entender la nutrición de un organismo, implica saber que cada una de los millones de células que lo integran, reciben específicamente, las sustancias alimenticias en la cantidad que necesitan. De igual forma, el oxígeno que inhalan los seres vivos llega por diversos mecanismos a todas las células, que respiran. Así que entre mayor conocimiento se tenga sobre la estructura y las funciones celulares, se comprenderán mejor las funciones globales del organismo (Savín, 1995).

III.4.1 ¿De qué están compuestas las células?

La composición química de los seres vivos es muy compleja. Está dominada y coordinada por polímeros de gran tamaño, moléculas formadas por encadenamiento de subunidades químicas; las propiedades de estos compuestos permiten a las células y organismos crecer y reproducirse. Los tipos principales de macromoléculas son las proteínas, formadas por cadenas lineales de aminoácidos; los ácidos nucleicos, DNA y RNA, formados por bases nucleotídicas, y los polisacáridos, formados por subunidades de azúcares (<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>).

III.4.2 Características estructurales de las células

Las células se dividen en procariontes y eucariontes; y éstas últimas en células vegetales y animales.

PROCARIOTES. El término "procarionte" proviene del griego "pro" = antes y "karyon" = "núcleo"; "antes del núcleo" (Salisbury y Ross, 1994). La mayoría de los procariontes viven como organismos unicelulares, aunque algunos forman filamentos, racimos u otras estructuras multicelulares organizadas (Alberts *et al.*, 1997).

EUCARIOTES. El término "eucarionte" proviene del griego "eu" = verdadero; y "karyon" = "núcleo", "núcleo verdadero". Los organismos multicelulares más complejos como las plantas, los animales, los hongos y muchos organismos unicelulares, desde levaduras hasta amibas, están formados de células eucariontes. El hecho de poseer un núcleo va de la mano con la posesión de una variedad de otros organelos (Alberts *et al.*, 1997).

En el siguiente cuadro se resumen las principales diferencias entre células procariontes y eucariontes.

Tabla III.2 Características de las células procariontes y eucariontes (animales y vegetales).

	Procariontes	Eucariontes
Organización celular	Principalmente unicelular	Principalmente multicelular, con células diferenciadas
Organismos representados	Bacterias y cianobacterias (algas verdeazules) (Starr y Taggart, 2001).	Unicelulares (diversas especies de protozoos, diatomeas, euglenoides, levaduras y hongos inferiores), plantas y animales.
Tamaño celular	Entre 0.5 y 10 μm de diámetro.	Entre 10 μm y 100 μm .
Metabolismo y Fotosíntesis	Anaeróbico o aeróbico.	Aeróbico.
Motilidad	Inmóviles o con flagelos formados por la proteína flagelina.	Con movimiento, cilios o flagelos (undulipodios) formados por microtúbulos, contracciones del citoplasma.
Membrana celular	Algunas veces con invaginaciones denominadas mesosomas (Salisbury y Ross, 1994).	Forma pliegues hacia adentro del citoplasma, que pueden ser superficiales o tan profundos que toquen el núcleo. A veces son finos y forman fisuras, o bien se ensanchan en el extremo interno formando vesículas (http://bio-ci.iespana.es/bio-ci/memb.htm).
Pared celular	De azúcares y péptidos característicos. Mide entre 10 y 20 nm de espesor. Con o sin cápsula (Salisbury y Ross, 1994).	De celulosa o quitina. Los animales carecen de ella.
Citoplasma: Organelos	Ribosomas (partículas formadas por proteínas y ácidos nucleicos que sintetizan proteínas), vacuolas, vesículas, depósitos de reserva (azúcares complejos y otros materiales). No rodeados por membranas (Salisbury y Ross, 1994)	Delimitados por membranas (Salisbury & Ross, 1994). En animales: Cuerpo de Golgi, vacuolas pequeñas, ribosomas, lisosomas, retículo endoplásmico liso y rugoso, mitocondrias, centriolos. En vegetales los mismos excepto los centriolos, además tienen cloroplastos http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm
Nucleolos	No poseen nucleolos http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm	Animales poseen nucleolos para la síntesis de subunidades de ribosomas. Vegetales algunas veces poseen más de uno http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm
Organización genética	ADN disperso en el citoplasma en un cuerpo central denominado nucleóide (cadena circular sencilla de DNA) (Salisbury y Ross, 1994)	ADN organizado en cromosomas y rodeado de una membrana nuclear (Schopf) con muchos poros http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm
Cromosomas	El ADN se organiza en un sólo cromosoma http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm	En animales superiores se presentan en pares y su número depende de la especie a la cual pertenece. En vegetales se presentan en pares y su número es fijo para cada especie http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm
Reproducción	Por división binaria.	Por mitosis o meiosis.

Como se puede observar, las células procariontes y eucariontes tienen diferencias marcadas, aunque la mayoría comparten tres características estructurales: membrana, citoplasma y material genético.

MEMBRANA CELULAR. Las células procariontes y eucariontes mantienen su individualidad gracias a la membrana celular o plasmática que poseen. Esta actúa como una barrera externa que las rodea, separando sus contenidos de los materiales que están fuera de ella (Johnson y Raven, 1996). Gracias a sus propiedades químicas facilita las asociaciones celulares para la formación de tejidos. En los eucariontes, es responsable de la compartimentalización interna (Savín, 1995). Pero sin duda, su característica principal es la de tener la propiedad de ser semipermeable o de permeabilidad selectiva. Esto significa que los nutrientes y sales (de tamaño pequeño) pasan al interior de ella y que los productos de desecho la abandonan, pero impide, habitualmente, la entrada desde el entorno de otras sustancias (solutos de mayor tamaño), con esto ayuda a mantener la homeostasis (Johnson y Raven, 1996). Como consecuencia de la captación selectiva de nutrientes, y de la excreción de desechos que lleva a cabo, la membrana plasmática contribuye a determinar la composición del citoplasma

<http://www.deqate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>

En cuanto a su estructura, la membrana es transparente y elástica. Está compuesta por una bicapa lipídica con proteínas e hidratos de carbono, en menor cantidad, y glucocálix externo. Las células animales, además contienen colesterol (Gottfried, 1993; Savín 1995). Por lo general, el espesor de la membrana celular es de 60 a 100 Å, pero en algunos glóbulos rojos llega hasta 300 Å (un angstrom es igual a una diezmilésima parte de una micra (μ); es decir, $1 \text{ \AA} = 0.0001\mu = 0.0000001 \text{ mm}$) (Savín, 1995). La membrana celular se distingue de la pared celular en las células vegetales y bacterias (Dowben, 1971). Las células vegetales se adaptan a la rigidez de la pared celular

<http://www.deqate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>.

CITOPLASMA ("lo que da forma a la célula") Término moderno que reemplaza al más antiguo, "protoplasma" (del griego *protos*: primero y *plasma*: formación), y que se refiere a la sustancia fluida descrita por los primeros investigadores, como homogénea. Se le denomina citoplasma a todo lo que está dentro de la membrana celular excepto el material genético de la célula (Johnson y Raven, 1996). En él están suspendidos una variedad de organelos, vesículas, inclusiones y gránulos (Dowben, 1971). En el citoplasma de las células eucariontes, los organelos y otros compartimentos están rodeados por membranas. En términos de microscopía, se dice que el citoplasma es

"ópticamente vacío", es decir, perfectamente transparente. En un célula viva se reconoce porque sus propiedades ópticas son diferentes de las del agua (Théron, 1979).

Para describirlo se puede subdividir en tres partes:

1. Citosol, hialoplasma o matriz citoplásmica.
2. Organelos.
3. Sustancias de reserva (Savín, 1995).

1. CITOSOL. La porción fluida del citoplasma se llama citosol (Johnson y Raven, 1996). El citosol es un gel de base acuosa que contiene gran cantidad de moléculas grandes y pequeñas, y en la mayor parte de las células es, con diferencia, el compartimiento más voluminoso (en las bacterias es el único compartimiento intracelular) (<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>).

El citosol está atestado completamente de ribosomas libres flotantes que son las estructuras en las cuales las proteínas son hechas (Johnson y Raven, 1996). En el citosol se producen muchas de las funciones más importantes de mantenimiento celular, como las primeras etapas de descomposición de moléculas nutritivas y la síntesis de muchas de las grandes moléculas que constituyen la célula. Aunque muchas moléculas del citosol se encuentran en estado de solución verdadera y se desplazan con rapidez de un lugar a otro por difusión libre, otras están ordenadas de forma rigurosa. Estas estructuras ordenadas confieren al citosol una organización interna que actúa como marco para la fabricación y descomposición de grandes moléculas y canaliza muchas de las reacciones químicas celulares a lo largo de vías restringidas

(<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>).

Hialoplasma: Coloide que presenta dos fases: la continua, que es una solución acuosa compleja, y la discontinua, formada por micelas. Es transparente e incoloro (Savín, 1995). Durante mucho tiempo fue considerado como una matriz sin estructura; sin embargo, estudios más recientes han revelado que posee un sistema de fibras que constituyen un citoesqueleto, en el cual están suspendidos los organelos y las formaciones intracelulares identificables microscópicamente. La matriz citoplásmica está compuesta por agua, iones inorgánicos y moléculas orgánicas pequeñas, macromoléculas y enzimas solubles, y las proteínas que constituyen el citoesqueleto

(<http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).

Citoesqueleto. Es una red tridimensional formada por filamentos proteínicos del citosol, que ocupa el interior de todas las células animales y vegetales. Adquiere una relevancia especial en las animales, que carecen de pared celular rígida, pues el citoesqueleto mantiene la estructura y la forma de la célula.

En muchas células, el citoesqueleto no es una estructura permanente, sino que se desmantela y se reconstruye sin cesar. Se forma a partir de tres tipos principales de filamentos proteicos: Microtúbulos, filamentos de actina y filamentos intermedios, unidos entre sí y a otras estructuras celulares por diversas proteínas. Los movimientos de las células eucarióticas están casi siempre regulados por los filamentos de actina o los microtúbulos. Muchas células tienen en la superficie pelos flexibles llamados cilios o flagelos, que contienen un núcleo formado por un haz de microtúbulos capaz de desarrollar movimientos de flexión regulares que requieren energía. Los espermatozoides nadan con ayuda de flagelos, por ejemplo, y las células que revisten el intestino y otros conductos del cuerpo de los vertebrados tienen en la superficie numerosos cilios que impulsan líquidos y partículas en una dirección determinada. Se encuentran grandes haces de filamentos de actina en las células musculares donde, junto con una proteína llamada miosina, generan contracciones poderosas. Los movimientos asociados con la división celular dependen en animales y plantas de los filamentos de actina y los microtúbulos, que distribuyen los cromosomas y otros componentes celulares entre las dos células hijas en fase de segregación. Las células animales y vegetales realizan muchos otros movimientos para adquirir una forma determinada o para conservar su compleja estructura interna (<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>). Imparte sobretodo forma y organización interna a la célula. Movimiento de la célula y de sus estructuras internas. Define la forma y arquitectura (distribución) celular, permite el movimiento y transporte intracelular (por medio de proteínas motoras), media procesos de endocitosis y exocitosis, participa activamente en la mitosis y en los procesos de modulación de receptores de superficie (define la conformación y función de los receptores), crea compartimientos (favorece la organización funcional); y participa en los procesos de interacciones intercelulares (<http://bio-cl.iespana.es/bio-cl/citosk.htm>).

2. ORGANELOS. En la siguiente tabla se resume la estructura y función de los organelos celulares.

Tabla III.3 Estructura y función de los organelos celulares

ORGANELO	ESTRUCTURA	FUNCIÓN
Mitocondria	Forma alargada, oval o esférica. Tamaño variable. Limitada por dos membranas: una externa, lisa, separada por un espacio o cámara externa de la membrana interna, plegada hacia adentro formando proyecciones llamadas crestas http://www.deguate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm	Aportan casi toda esta energía realizando las últimas etapas de la descomposición de las moléculas de los alimentos. Estas etapas finales consisten en el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, proceso llamado respiración. Producen muchas moléculas de ATP en una manera altamente eficiente. Sin mitocondrias, los animales y hongos no serían capaces de utilizar oxígeno para extraer toda la energía de los alimentos y mantener con ella el crecimiento y la capacidad de reproducirse. Los organismos llamados anaerobios viven en medios sin

		oxígeno, y todos ellos carecen de mitocondrias (http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml).
Cloroplasto	En las células de plantas y algas. Discoidales, ovalados, en forma de bastón, de espiral (como en el alga <i>Spirogyra</i>), de red (como en el alga <i>Oedogonium</i>), etc. Contienen pigmentos como: clorofila, xantofila y caroteno. Poseen ARN y ADN. Revestidos por una doble membrana: la interna forma, hacia la matriz del cloroplasto, una serie de prolongaciones en forma de sacos apilados, llamados grana. Los grana mantienen conexiones membranosas unos con otros y con la membrana interna que les dio origen. Los cloroplastos de algunas algas no tienen grana. En su lugar hay una serie de laminillas paralelas, es en éstas o en los grana donde se encuentra la clorofila (Savín, 1995).	Acumulan sustancias de reserva como almidón, grasas y proteínas (Savín, 1995) y son responsables de la fotosíntesis en plantas y algas (http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml). Los animales carecen de ellos.
Vacuola	Vesículas redondeadas, de diversos diámetros, limitadas por una membrana semipermeable. Generalmente hay una sola vacuola que ocupa el 80-90% del volumen celular. El contenido de la vacuola está integrado por agua y altas concentraciones de sales inorgánicas, azúcares y otras sustancias. El citoplasma y el núcleo quedan comprimidos por esta vacuola contra la membrana plasmática y la pared celular.	En general, su función es la de almacenamiento de sustancias: agua, sustancias nutritivas, sustancias de desecho. Las vacuolas contribuyen a controlar la turgencia de la célula vegetal, ya que la presión que ejerce sobre el tonoplasto se transmite al citoplasma y mantiene a la membrana plasmática adherida contra la pared celular (http://www.deqate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm). Sólo lo vegetales las poseen. Las células animales carecen de ellas.
Reticulo Endoplásmico Liso o Agrular	Cisternas de membrana intercomunicadas, cuya apariencia es la de una serie de bolsas aplanadas y túbulos membranosos. Localización y extensión variable que depende de la actividad metabólica de la célula. Cada sistema membranoso está constituida por una unidad de membrana que limita la cavidad. La membrana presenta muchas enzimas para realizar funciones específicas.	Circulación intracelular de sustancias que no se liberan al hialoplasma. Síntesis, almacenamiento y transporte de lípidos: esteroides, fosfolípidos, triglicéridos (Savín, 1995). Tratamiento y eliminación de sustancias tóxicas. Anulación de los efectos farmacológicos de ciertas drogas por modificación en su estructura química, por ejemplo, la administración de barbitúricos hace que se desarrolle considerablemente el Reticulo Endoplásmico Liso de los hepatocitos, encargados de desdoblarse esos fármacos. En células musculares estriadas recibe el nombre de retículo sarcoplásmico y presenta una disposición muy particular, ligada con la coordinación de la contracción de la fibra muscular (http://www.deqate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm). La función más probable, de esta red membranosa, es tabicar el territorio celular para que se puedan efectuar al mismo tiempo muchas funciones, a veces opuestas (Savín, 1995).
Reticulo Endoplásmico Rugoso o Granular	Cisternas membranosas intercomunicadas con ribosomas y polisomas adheridos (por su subunidad mayor) a la superficie externa de sus membranas. La extensión y distribución mayor del R.E.R. es variable y depende de la actividad metabólica particular de la célula. El R.E.R. también es llamado ergastoplasma o sustancia basófila; en las células nerviosas se le denomina corpúsculos de Nissl. El R.E.R. está muy desarrollado en aquellas células con gran actividad secretora de proteínas, como los plasmocitos que fabrican anticuerpos, las células pancreáticas que fabrican enzimas digestivas, plasmáticas, etc.	Síntesis, procesamiento y almacenamiento de proteínas realizadas en los ribosomas adosados a sus membranas. Las proteínas formadas entran a los sacos membranosos, y siguen circulando por el sistema vacuolar citoplasmático. Las proteínas producidas en el R.E.R. son de dos tipos: 1) Enzimas hidrolíticas que van a formar parte de los lisosomas y, 2) Proteínas de secreción, a las que también el cuerpo de Golgi proveerá de una membrana para su salida de la célula (http://www.deqate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm).
Cuerpo de Golgi o Dictiosoma	Su disposición más característica es la de un apilamiento de vesículas aplanadas, cercanas al núcleo, sin ribosomas, que se distinguen del R.E.L. por su composición química (Savín, 1995). Su conexión con éste no es física, sino que es mediada por transportadores vesiculares que se desplazan a través del citoplasma asociados a elementos del citoesqueleto (http://biocli.espana.es/bio-cl/golgi.htm). En las células vegetales, hay numerosas estructuras	Circulación intracelular de sustancias. Síntesis de algunos hidratos de carbono de alto peso molecular: celulosa, polisacáridos complejos. Conjugación entre proteínas e hidratos de carbono para formar glucoproteínas de secreción. Concentración condensación y empaquetamiento de la sustancia de secreción dentro de una vesícula limitada por una membrana. Concertación y empaquetamiento de enzimas hidrolíticas dentro de una vesícula limitada por una membrana. De esta manera el cuerpo de Golgi ama los lisosomas primarios que

	<p>separadas y dispersas en el citoplasma, que equivalen al cuerpo de Golgi y que reciben el nombre de dictiosomas. El tamaño, la distribución dentro de la célula y otras características, como el número de sacos apilados de este sistema, varían de acuerdo al estado metabólico de la célula http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm</p>	<p>permanecerán en el citoplasma de la célula. Formación del acrosoma: durante la maduración de las espermátidas a espermatozoides, varias vesículas del aparato de Golgi se fusionan dando una vesícula mayor, que se va extendiendo y formando un casquete alrededor del polo anterior del núcleo. Este casquete se denomina acrosoma y contiene diversas enzimas hidrolíticas que facilitarán la aproximación al óvulo, atravesando las células que lo rodean. Formación del fragmoplasto en la división de células vegetales: los dictiosomas se agrupan alrededor de microtúbulos en la zona ecuatorial de la célula y constituyen el fragmoplasto; éste se transforma luego en la placa celular, la cual establece la división entre las dos células hijas http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm</p>
Lisosomas	<p>De tamaño variable, aunque habitualmente no son mayores que las mitocondrias, y pueden tener diámetros muy grandes. Se presentan como pequeñas vesículas esféricas u ovals en el citoplasma, limitadas por una membrana que contiene una gran cantidad de enzimas hidrolíticas o hidrolasas, cuya función es destruir por hidrólisis proteínas de la célula, polisacáridos y lípidos que ya no son necesarios (Savín, 1995). Como estas enzimas son perjudiciales para el resto de la célula se segregan en los lisosomas. Entre otras enzimas lisosomales se pueden citar: Fosfatasa: intervienen en la hidrólisis de fosfatos de moléculas orgánicas. Lipasa y fosfolipasa: intervienen en la hidrólisis de lípidos y fosfolípidos. Glucosidasas: intervienen en la hidrólisis de polisacáridos simples y complejos. Catepsinas y otras proteasas: intervienen en la hidrólisis de proteínas. Nucleasas: intervienen en la hidrólisis de ácidos nucleicos. Las hidrolasas lisosomales sólo actúan en presencia de las sustancias a digerir. La membrana del lisosoma es normalmente estable pero, si es dañada, las enzimas que se liberan pueden degradar a todos los componentes celulares http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm</p>	<p>Intervienen en la digestión intercelular. Las sustancias a digerir pueden provenir de la misma célula o pueden ser incorporadas desde el exterior por fago o pinocitosis. En el primer caso, el proceso se denomina autofagia, y por él una célula puede desdoblar organelos de su propio citoplasma, encerrados en vacuolas. En el caso de macromoléculas exógenas, el proceso de digestión por lisosomas consiste, en general, en los siguientes pasos: La sustancia entra a la célula por endocitosis, con lo cual queda incluida dentro de una vacuola endocítica. Contacto y fusión entre las membranas de una vacuola fagocítica y un lisosoma primario. Al ponerse en contacto el contenido enzimático lisosomal con la sustancia a digerir comienza la hidrólisis de la misma: la vacuola se denomina, en este momento, lisosoma secundario o vacuola digestiva. A medida que transcurre la hidrólisis, los productos solubles atraviesan la membrana del lisosoma secundario y son aprovechados en el citoplasma. Las sustancias no digeribles pueden acumularse en los lisosomas como cuerpos residuales, o bien pueden formar una vesícula de eliminación que vuelca los productos de desecho en el exterior de la célula por exocitosis http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm Las proteínas y otros componentes que han de degradarse son transportados selectivamente al interior de los lisosomas y se hidrolizan allí liberando sus componentes los cuales, a continuación, son devueltos al citoplasma. En la alteración genética humana enfermedad de Tay Sachs los lisosomas carecen de algunos enzimas que hidrolizan lípidos, provocando que algunos de éstos se acumulen en el cerebro y en otros tejidos y conduzcan a un retraso mental (Lehninger).</p>
Ribosomas	<p>Se encuentran en el citoplasma de todas las células, adheridos a algunas de las membranas del R.E. Se presentan como cuerpos esféricos o elípticos, sin membrana limitante, cuyo diámetro oscila entre 18 y 22 nm. Cada ribosoma está constituido por dos subunidades formadas por ARN ribosomal y proteínas. Las dos subunidades están normalmente separadas y se unen entre sí con un filamento de ARN mensajero cuando empiezan a funcionar activamente en la síntesis de proteínas. El ARN mensajero es una molécula lineal de longitud variable, sobre la cual se unen varios ribosomas, constituyendo un polirribosoma o polisoma http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm En bacterias, levaduras, células meristemáticas de las plantas, células embrionarias, los ribosomas están libres en la matriz citoplásmica. Su número es mayor en células con una gran actividad de síntesis proteica (Savín, 1995).</p>	<p>Síntesis de proteínas (Savín, 1995; Johnson y Raven, 1996). Ensamblan cadenas de polipéptidos. Este es el proceso mediante el cual el mensaje contenido en el ADN nuclear, que ha sido previamente transcrito en un ARN mensajero, es traducido en el citoplasma, juntamente con los ribosomas y los ARN de transferencia que transportan a los aminoácidos, para formar las proteínas celulares y de secreción. Las proteínas celulares se sintetizan en diferentes lugares según su destino final: Las proteínas enzimáticas del lisosoma y las proteínas de secreción, como ya se ha citado, son construidas sobre polisomas adheridos a membranas del retículo endoplásmico granular. Las proteínas de uso de la misma célula y que no quedan encerradas en una vacuola son sintetizadas en polisomas libres en el citoplasma. En realidad, los ribosomas y polisomas no se encuentran suspendidos o flotando en la matriz citoplásmica, sino que se hallan sujetos en la trama del sistema microtabeular http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm</p>

3. SUSTANCIAS DE RESERVA. También existen en el citoplasma sustancias químicas que no se consideran materia viva y funcionan como reserva. Por ejemplo en las plantas, los almidones en forma de gránulos insolubles; en semillas de frijol, los granos de aleurona; en animales el equivalente de almidón vegetal es el glucógeno, que se encuentra en forma de gránulos en células como las del hígado. En células hepáticas se forman gotas de grasa, así como el tejido adiposo (Savín, 1995).

Como se ha descrito, en el citoplasma suceden la mayor parte de las reacciones del metabolismo celular catalizadas por las enzimas. En él, las células emplean la energía química para efectuar el trabajo de construcción y de mantenimiento de su estructura y llevar a cabo el movimiento celular o la contracción. En el hialoplasma se realizan, entre otras, las reacciones bioquímicas de la glucólisis y la activación de los aminoácidos para la síntesis de proteínas

(<http://www.deguate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).

El tercer constituyente que se encuentra en todas las células es el material genético.

Las células eucariontes tienen un núcleo bien definido (los glóbulos rojos del mamífero pierden su núcleo durante la maduración, las células de los músculos estriados poseen varios núcleos, excepciones, a la regla general de un núcleo por célula) donde se replica y se almacena el material genético en forma de ácido desoxirribonucleico (DNA), éste contiene las instrucciones para hacer proteínas y llevar a cabo las actividades de las células (Ville, 1988; Johnson y Raven, 1996). El núcleo de la célula eucarionte está rodeado por una doble membrana (Salisbury y Ross, 1994). Aunque su tamaño es variable, mide aproximadamente 5 μm de diámetro, pero en general está relacionado con el tamaño de la célula (<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>). Se dice que el núcleo ocupa cerca de 10% del volumen celular que lo convierte en una de las estructuras más prominentes de la célula (<http://bio-cl.iespana.es/bio-cl/nucleo.htm>). Presenta formas regulares o irregulares. El número de núcleos por célula también es variable: es uno en la mayoría de las células; pueden ser dos, como en algunos hepatocitos, o muchos, como en los osteoclastos y las fibras musculares estriadas. El núcleo puede presentar en la célula diferentes localizaciones, pero en general su posición es fija y característica para una célula dada. Entre las funciones que desempeña está la de controlar la síntesis de proteínas en el citoplasma enviando mensajeros moleculares, además almacena el material hereditario y coordina la actividad celular, que incluye al metabolismo, crecimiento, síntesis proteica y división (<http://bio-cl.iespana.es/bio-cl/nucleo.htm>). Debido al hecho de que contiene a la cromatina, el núcleo resulta el

depósito de prácticamente toda la información genética de la célula, y por lo tanto es el centro de control de la actividad celular

<http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>.

NUCLEOIDE. Las células procariontes tienen DNA disperso en el citoplasma, en un cuerpo central denominado nucleoide (cadena circular sencilla de DNA) (Salisbury y Ross, 1994). No hay membranas entre el nucleoide y el citoplasma que lo rodea.

NUCLEOLO. Es un cuerpo esférico que se encuentra en el núcleo, es extraordinariamente variable en la mayor parte de las células, apareciendo y desapareciendo, cambiando de forma y estructura. Puede haber más de un nucleolo en un núcleo, pero las células de cualquier especie de planta o animal generalmente tienen un número fijo de ellos. Los nucleolos desaparecen cuando una célula está a punto de dividirse y reaparecen después. Si el nucleolo es destruido por rayos ultravioleta localizados cuidadosamente o por irradiación de rayos X, se inhibe la división de la célula. Esto no ocurre en experimentos de control en que se irradian regiones del núcleo distintas del nucleolo (Ville, 1988; <http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>).

Además de las características anteriores, las células poseen otras como:

ENVOLTURAS PERICELULARES. En los vegetales se denominan cápsulas de secreción y son de celulosa. Además de la celulosa, en el corcho se agrega suberina y en los tallos leñosos lignina. Además de encontrarse en el corcho y en los tallos leñosos, se encuentran en las células de la epidermis del bulbo de la cebolla y de la raíz del betabel. En los animales, la envoltura pericelular es el glicocálix. Este es una cápsula de sustancias viscosas. Durante la fecundación, la penetración del espermatozoide en el óvulo está íntimamente relacionada con las características químicas del glicocálix. En artrópodos, sus células epidérmicas están envueltas por quitina, confiriéndoles gran dureza a la superficie de sus cuerpos (Savín, 1995).

PARED CELULAR. Se encuentra presente en las células eucariontes vegetales y fúngicas. Entre las embriófitas, las únicas células que no la tienen son los gametos masculinos y a veces los gametos femeninos. Las células animales carecen de pared celular (<http://bio-cl.iespana.es/bio-cl/pared.htm>).

Está constituida por polisacáridos, de azúcares y péptidos característicos. El orden en el que se encuentra de afuera hacia dentro es, primero la cápsula o vaina, después la pared y por último la membrana plasmática, y también es segregada por la misma célula <http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>.

Su estructura rígida protege de daños e hinchamiento osmótico. Proporciona soporte mecánico, protección y mantiene el balance osmótico. Se compone de pared primaria y

pared secundaria, de fibras de celulosa o de quitina. La celulosa proporciona rigidez y determina las formas geométricas de los tejidos vegetales

<http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).

Las paredes tienen un papel importante en actividades como absorción, transpiración, traslocación, secreción y reacciones de reconocimiento, como en los casos de germinación de tubos polínicos y defensa contra bacterias u otros patógenos (<http://bio-cl.iespana.es/bio-cl/pared.htm>). Debido a que las paredes son persistentes y se preservan bien, se pueden estudiar fácilmente en plantas secas y también en los fósiles. Incluso en células muertas son funcionales las paredes celulares: en los árboles, la mayor parte de la madera y la corteza está formada sólo de paredes celulares, ya que el protoplasto muere y degenera. En la corteza las paredes celulares contienen materiales que protegen las células subyacentes de la desecación. En la madera las paredes celulares son gruesas y rígidas y sirven como soporte mecánico de los órganos vegetales

(<http://bio-cl.iespana.es/bio-cl/pared.htm>).

III.4.3 Número de células en los organismos multicelulares

Se considera que en el cuerpo humano existen por lo menos 10^{14} células. Los autores Johnson y Raven (1996) sugieren que son 100 trillones de células, las que generalmente oscilan entre 5 a 20 μm de diámetro. Por su parte Starr y Taggart (2001) afirman que en el cuerpo humano y en sus superficies húmedas, viven en interdependencia trillones de células.

Por el lado de los animales y plantas, se considera que éstos están formados por muchos millones de células organizadas en tejidos y órganos (Savín, 1995).

III.4.4 Tamaño de las células

¿Por qué los organismos multicelulares están formados de muchas células pequeñas en vez de pocas células grandes? ¿Por qué las células poseen dimensiones tan pequeñas? En primer lugar, puede decirse que el aumento del tamaño celular está regulado por una relación física llamada proporción de la superficie con respecto al volumen. Debido a esta relación, el volumen de un objeto aumenta con el cubo del diámetro, pero su área superficial sólo aumenta con el cuadrado. En otras palabras, si una célula durante su crecimiento se expande en diámetro, su volumen aumentará más rápidamente que su área superficial (Starr y Taggart, 2001). Si una célula no es pequeña, se espera que sea larga y delgada o que tenga plegamientos hacia fuera o hacia adentro para que su superficie sea mayor en relación a su volumen.

La segunda razón tiene que ver con el transporte dentro de la misma célula. Al aumentar el tamaño celular, aumenta también el recorrido que tienen que efectuar los materiales y la información para llegar a su destino. Por lo tanto, las células pequeñas funcionan con mayor eficiencia que las células más grandes (Johnson y Raven, 1996). "Entre más pequeña o más estrecha o más adornada sea la superficie de una célula, con mayor eficiencia cruzaran los materiales su superficie y serán completamente distribuidos en el interior" (Starr y Taggart, 2001).

La tercera explicación a la pregunta de por qué las células son tan pequeñas tiene que ver con el núcleo, el cual no puede controlar todas las actividades de una célula demasiado grande. De hecho, algunas células grandes y complejas, como el paramecio, tienen dos núcleos. Y las células grandes con un solo núcleo, como las células de óvulos no fertilizados, usualmente están inactivas (Gottfried, 1993).

Con respecto a las dimensiones celulares, se puede decir que pocas son las células que se pueden observar a simple vista, entre ellas están la yema del huevo de las aves, las semillas de las sandías, la hueva de los peces (el caviar) (Starr y Taggart, 2001), las células individuales del alga marina *Acetabularia*, que miden más de 5 cm de longitud (Gottfried, 1993). Otros tipos de células son largas y delgadas tales como las células nerviosas, cuyas delgadas prolongaciones pueden alcanzar varios metros de longitud (las del cuello de la jirafa constituyen un ejemplo espectacular). Sin embargo la mayor parte de las células no pueden observarse sin la ayuda del microscopio. Algunas de las células bacterianas más pequeñas tienen forma cilíndrica de menos de una micra de longitud, aunque muchas poseen una longitud de alrededor de 2 μm . (Una micra (μm) es igual a una millonésima de metro). Casi todas las células vegetales miden entre 20 y 30 μm de longitud, forma poligonal y pared celular rígida. Sin embargo pueden medir entre 5.0 μm y hasta 75 μm (óvulo de avestruz)

<http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>. Las células de los tejidos animales suelen ser compactas, entre 10 y 20 μm de diámetro y con una membrana superficial deformable y casi siempre muy plegada (<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>). La mayor parte de las células de animales macroscópicos tienen una longitud entre 20 y 30 μm . Por ejemplo, los hepatocitos miden de 20 a 30 μm .

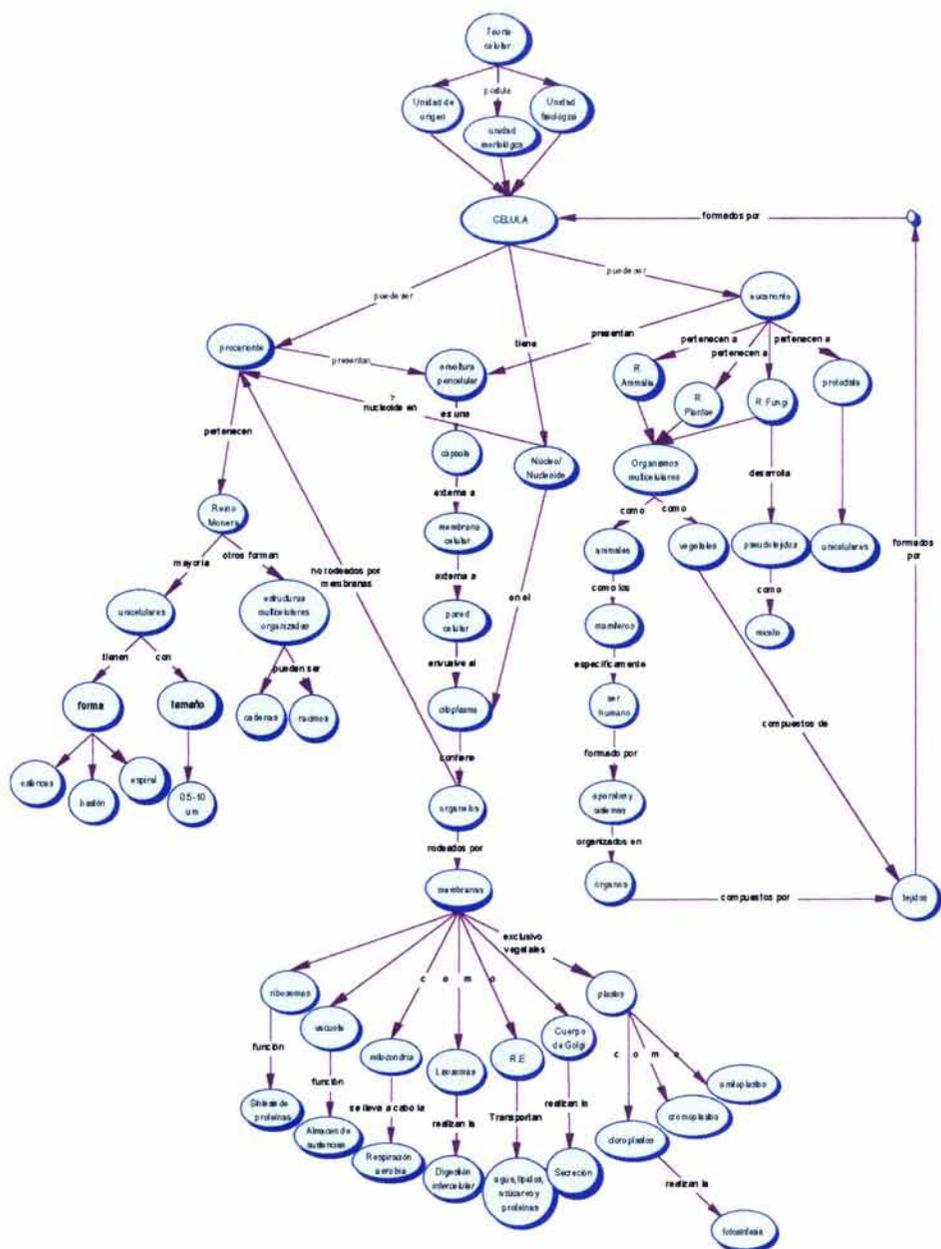
III.4.5 Forma de las células

¿Qué factores influyen en la forma celular?

Existen células de diferentes formas: estrelladas (neuronas), con forma de esfera o bastones (bacterias), de disco bicóncavo (eritrocito). Pero su forma depende de algunos factores, por ejemplo de donde se encuentren dentro del organismo y la función que desempeñen. También de la presión mecánica que es ejercida sobre las células en un espacio limitado y con gran número de ellas. Otro factor que puede influir en la forma es la viscosidad del citoplasma, es decir las sales disueltas y las sustancias contaminantes (<http://www.deguate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>).

Hasta aquí se han expuesto los aspectos históricos del surgimiento del concepto de célula y se ha descrito la estructura celular, pero también es necesario conocer lo que los alumnos saben sobre este tema. Para ello es necesario conocer las ideas previas de los alumnos de bachillerato.

Figura III.1. Mapa conceptual de la visión científica de la célula



Capítulo 4. Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato sobre el concepto de célula

Con el propósito de obtener mayor información de las ideas previas que expresan los alumnos del bachillerato en relación al concepto de célula, en el siguiente capítulo se presenta una propuesta de clasificación de las mismas. Las ideas previas analizadas corresponden a los subtemas de:

- Estructura y Fisiología de la célula,
- Osmosis y Difusión,
- Fotosíntesis y Respiración.

Estas ideas se obtuvieron de fuentes originales como son artículos y libros enfocados a la investigación de las concepciones de los estudiantes de bachillerato. Para una mayor información sobre ellas, se encuentran indicadas entre paréntesis las fuentes originales de donde se obtuvieron o también se pueden consultar en la página <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>.

Para la realización de la categorización se analizaron 91 ideas previas correspondientes a los subtemas de Estructura y Fisiología de la célula; 25 para los de Osmosis y Difusión y 60 para los de Fotosíntesis y Respiración.

La propuesta de clasificación que se empleó para la categorización fue tomada de Flores *et al.* (2001) y con ella se pretende organizar las ideas previas en jerarquías con el propósito de facilitar su interpretación y análisis. Dicha propuesta se caracteriza por tener tres niveles de agrupación de las ideas previas. Estos niveles son: Concepción, Categoría y Marco.

El primer nivel de agrupación denominado Concepción se caracteriza por ser un enunciado que engloba a un conjunto de ideas previas que se refieren a un mismo fenómeno. Categoría corresponde al segundo nivel de clasificación y agrupa conjuntos de concepciones que se refieren a un campo más amplio de explicación. El Marco agrupa a

una o varias categorías y da cuenta de un marco de referencia más amplio para un conjunto de fenómenos, por lo tanto este es el nivel de clasificación más general e implica la síntesis más alta que se puede hacer con las ideas previas Flores *et al.* (2001).

Estos niveles de agrupación (concepciones, categorías y marcos) de las ideas previas se encuentran representados en un diagrama ubicado al final de cada subtema. Por último, se presenta el análisis de las representaciones conceptuales de los estudiantes de bachillerato en relación con cada uno de los subtemas mencionados.

Simbología

La simbología utilizada en cada nivel de clasificación es la siguiente:

El marco está representado por la letra M, seguido por el número al que corresponde dicho marco. El análisis contempla un total de 13 marcos. En seguida se encuentra el nombre del marco y en un enunciado corto se expone la idea central del mismo.

Posteriormente se encuentra la categoría, ésta se representa con tres letras mayúsculas CTG, seguidas del número que le corresponde, por ejemplo: CTG 1, CTG 2. . . CTG 21. Existen en total 21 categorías. También se expone en un breve enunciado la idea central de la categoría.

Finalmente se encuentran las concepciones, las cuales están representadas por una c. Debido a que las concepciones son enunciados que engloban a un conjunto de ideas previas referidas a un fenómeno en particular, también se presentan las ideas previas que dan sustento a cada una de las concepciones. La numeración decimal que antecede a cada idea previa indica el número de concepción al cual pertenece, y el número después del punto indica el número sucesivo de las ideas previas. Es importante aclarar que algunas ideas previas pueden encontrarse repetidas formando parte de otras concepciones, en estos casos se conserva la numeración original.

IV.1 Categorización de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la estructura y fisiología de la célula

M1. UNIDAD MORFOLÓGICA Y DE ORIGEN. Los seres vivos están formados por unidades vivas (con características específicas) que permiten la continuidad de la vida.

CTG 1. La célula es la unidad mínima de construcción de los seres vivos. Posee características estructurales.

c2. La célula es el bloque mínimo de construcción de los seres vivos.

Ideas previas

- 2.1 La célula es un bloque de construcción (Hackling, 1982).
- 2.2 La célula es la unidad básica de todo organismo vivo... (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 2.3 Los seres vivos están hechos de células vivas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 2.4 Las células de la epidermis de cebolla están dispuestas como los ladrillos de un muro (Díaz y Jiménez, 1996).
- 2.5 Las células de la epidermis de cebolla tienen formas hexagonales y están dispuestas como en un panal de abejas (Díaz y Jiménez, 1996).

c4. Las células son tridimensionales y tienen características estructurales.

Ideas previas

- 4.1 La célula tiene características estructurales (Hackling, 1982).
- 4.2 Las células son tridimensionales porque están constituidas por materia (Flores *et al.*, 2000).

c6. Las células pueden ser hexagonales o rectangulares aunque por lo general son redondas.

Ideas previas

- 6.1 Las células de la epidermis de cebolla tienen formas hexagonales y están dispuestas como en un panal de abejas (Díaz y Jiménez, 1996).
- 6.2 Las células de la epidermis de cebolla están dispuestas como los ladrillos de un muro (Díaz y Jiménez, 1996).
- 6.3 Las células por lo general son redondeadas (Flores *et al.*, 2000).
- 6.4 Las células de la epidermis de cebolla tienen formas redondeadas o curvas (Díaz y Jiménez, 1996).

c1. La célula es una entidad viva, por lo tanto los seres formados por células están vivos.

Ideas previas

- 1.1 La célula es una entidad viviente (Hackling, 1982).
- 1.2 Los seres vivos están hechos de células vivas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 1.3 Las plantas no están formadas de células porque no son seres vivos (Banet y Ayuso, 2000).

CTG 2. Las células son las unidades funcionales de los organismos multicelulares.

c1. La célula es una entidad viva, por lo tanto los seres formados por células están vivos.

Ideas previas

- 1.1 La célula es una entidad viviente (Hackling, 1982).
- 1.2 Los seres vivos están hechos de células vivas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 1.3 Las plantas no están formadas de células porque no son seres vivos (Banet y Ayuso, 2000).

c15. El color verde de los vegetales se debe a que sus paredes celulares son verdes.

Ideas previas

- 15.1 Las paredes celulares son de color verde (Treagust y Haslam, 1986).
- 15.2 La celulosa es de color verde (Treagust y Haslam, 1986).

c11. La respiración es a nivel celular.

Ideas previas

- 11.1 En las células se lleva a cabo la respiración; las células requieren oxígeno (Flores *et al.*, 2000).
- 11.2 En la mitocondria se lleva a cabo la respiración (procesa oxígeno) (Flores *et al.*, 2000).
- 11.3 En los cloroplastos se lleva a cabo la respiración aerobia (fotosíntesis) (García, 1991).

c12. Las células animales respiran oxígeno y las células vegetales dióxido de carbono.

Ideas previas

- 12.1 La respiración de las células animales y vegetales es diferente (Flores *et al.*, 2000).
- 12.2 Las células vegetales respiran dióxido de carbono, las células animales oxígeno (Flores *et al.*, 2000).

c13. Algunas células se especializan en la producción de proteínas y otras en la producción de energía.

Ideas previas

- 13.1 Las células especializadas desempeñan funciones específicas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 13.2 Las células están especializadas, existen algunas que se dedican a la producción de proteínas para todo el organismo, otras que producen energía (Dreyfus y Jungwirth, 1989).
- 13.3 Algunas células se especializan en la producción de proteínas y las otras no tienen mitocondrias (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 13.4 ... algunas células se han especializado en la producción de proteínas que son transportadas a otras células del organismo (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

CTG 3. Las células provienen de otras células.

c3. Las células se originan de otras células.

Ideas previas

- 3.1 El origen de una célula es otra célula (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 3.2 Una célula nueva es producida por una célula vieja, que continuará existiendo después de la formación de la nueva (Smith, 1991).

M2. DIMENSIONAL. Este marco se caracteriza por la confusión entre las dimensiones celulares y moleculares.

CTG 4. Las dimensiones moleculares son mayores que las dimensiones celulares.

c5. El tamaño de las células es menor que el de las moléculas de proteína.

Ideas previas

- 5.1 La célula es más pequeña que un grano de arena (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 5.2 Todas las células son microscópicas (Flores *et al.*, 2000).
- 5.3 Las moléculas de proteína son más grandes que la célula (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 5.4 Los genes están hechos de cromosomas, o células, o información (Lewis *et al.*, 2000).

M3. TELEOLÓGICO. La función de las células está determinada por la forma que tienen.

CTG 5. El fin (función celular) explica como están construidas ciertas estructuras (forma celular).

c8. La forma de la célula depende de la función que realice.

Ideas previas

- 8.1 Las células de un organismo son diferentes según la función que realicen (Flores *et al.*, 2000).
- 8.2 La forma de la célula depende de la función (Flores *et al.*, 2000).

M4. TRASLADO DE LO MACROSCÓPICO A LO MICROSCÓPICO. La morfología y fisiología de las células están determinadas por la morfología y fisiología del organismo multicelular al que pertenecen y de las condiciones ambientales a las que está expuesto.

CTG 6. La célula es influida en su aspecto, forma, crecimiento y tamaño por el aspecto, forma, crecimiento y tamaño del organismo multicelular al que pertenece.

c14. El aspecto de las células de un determinado vegetal es semejante al aspecto externo del mismo vegetal.

Idea previa

- 14.1 El aspecto de una célula de epidermis de cebolla es semejante al aspecto externo de la cebolla, con todo y sus aros típicos (Díaz y Jiménez, 1996).

c16. La forma de la célula depende de la forma del órgano u organismo que constituye.

Ideas previas

- 16.1 Las células de un organismo son diferentes según el órgano que formen (Flores *et al.*, 2000).
- 16.2 Las células de un organismo tienen diferentes formas porque éste tiene partes diferentes (Flores *et al.*, 2000).
- 16.3 La forma plana o tridimensional de la célula depende del organismo que constituyen (Flores *et al.*, 2000).

c18. La forma de las células cambia con el desarrollo del organismo.

Ideas previas

- 18.1 Las células cambian de forma conforme el organismo se desarrolla (Flores *et al.*, 2000).
- 18.2 Con el crecimiento del organismo las células cambian de forma (Flores *et al.*, 2000).

c17. El crecimiento de las células está limitado por el crecimiento del organismo al que pertenecen.

Ideas previas

- 17.1 Las células crecen dependiendo del desarrollo del organismo (Flores *et al.*, 2000).
- 17.2 Con el crecimiento del organismo las células cambian de tamaño pero no de forma (Flores *et al.*, 2000).

c21. El cerebro del organismo multicelular controla el crecimiento de la célula.

Idea previa

- 21.1 La célula crece hasta que recibe el orden del cerebro de parar (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

c7. Las células de diferentes organismos son diferentes en forma y tamaño.

Ideas previas

- 7.1 Las células de organismos diferentes tienen diferente tamaño (Flores *et al.*, 2000).
- 7.2 Animales diferentes tienen células de diferente forma (Flores *et al.*, 2000).
- 7.3 El tamaño de las células de órganos semejantes, pero de organismos diferentes es diferente (Flores *et al.*, 2000).

CTG 7. La célula es influida en su forma y tamaño por problemas relacionados con el organismo al que pertenece o por factores externos a éste.

c19. La forma de las células se modifica debido a problemas relacionados con el organismo o por factores externos a éste.

Ideas previas

- 19.1 La forma de la célula se altera debido a problemas genéticos (Flores *et al.*, 2000).
- 19.2 La forma de las células se modifica debido a problemas físicos, químicos y sociales (Flores *et al.*, 2000).
- 19.3 La forma de las células se modifica debido a la temperatura y al agua (Flores *et al.*, 2000).

c20. El tamaño de las células se modifica por la influencia de factores ambientales.

Idea previa

- 20.1 Los factores del medio ambiente, la alimentación, la cantidad de agua y las enfermedades modifican el tamaño de las células (Flores *et al.*, 2000).

CTG 8. El mismo proceso fisiológico que ocurre en el organismo multicelular ocurre en la célula, sólo que a una escala menor.

c22. Digestión en las células significa romper las moléculas, provenientes de la digestión del organismo multicelular, en pedazos suficientemente pequeños que luego pasarán a la sangre.

Ideas previas

- 22.1 El proceso de digestión (en el organismo multicelular) consiste en descomponer el alimento en sustancias nutritivas más sencillas (Banet y Núñez, 1989).
- 22.2 El alimento, tal como lo comemos, no puede llegar a las células, sino que es necesario descomponerlo. Para ello se mezcla con los jugos digestivos, que ayudan a la digestión (Banet y Núñez, 1989).
- 22.3 La digestión (*en el organismo*) debe ocurrir antes de la absorción de la comida por la célula (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 22.4 Los alimentos entran a la célula a través de la membrana ya que ésta sabe que debe dejar entrar y que es bueno para la célula (Dreyfus y Jungwirth, 1989).

- 22.5 La digestión en la célula se lleva a cabo porque el alimento se rompe en pedazos suficientemente pequeños que pasan a través de la membrana hacia la sangre (Dreyfus y Jungwirth, 1989).
- 22.6 La digestión consiste, además de machacar y triturar los alimentos, en separar las sustancias buenas (que serán absorbidas) de las malas (que van al intestino) contenidas en los alimentos (Banet y Núñez, 1989).
- 22.7 Los alimentos después de la digestión son los mismos pero de tamaño más reducido (Banet y Núñez, 1989).
- 22.8 Las células pequeñas tienen sistemas digestivos pequeños (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 22.9 Las grandes moléculas deben ser digeridas antes de la ingestión a la célula, pero la célula como la comida primero y la digiere después (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 22.10 Los productos finales de la digestión son llevados a las células (Songer y Mintzes, 1994).

CTG 9. Los productos que provienen del organismo multicelular llegan hasta la célula.

c23. La energía que requiere la célula para realizar sus funciones puede provenir del agua, del alimento o de la respiración del organismo multicelular.

Ideas previas

- 23.1 El agua proporciona la energía necesaria para las actividades celulares (Flores *et al.*, 2000).
- 23.2 En el agua hay gran cantidad de energía (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 23.3 El agua es una fuente de energía, hay muchas enzimas en ella y por eso debemos consumir grandes cantidades (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 23.4 El agua tiene la función de dar mucha energía a los seres vivos (Dreyfus y Jungwirth, 1989).
- 23.5 La energía que necesitamos proviene del alimento que comemos (Songer y Mintzes, 1994).
- 23.6 Obtenemos la energía que necesitamos del alimento que comemos que se convierte en energía, del agua que también se convierte en energía y del oxígeno que durante la respiración también es convertido en energía (Barak y Gorodetsky, 1999).
- 23.7 El alimento es energía (Bishop, 1986).
- 23.8 La comida se desintegra y la energía se produce en el tracto digestivo (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 23.9 La energía es producida por la respiración (*del organismo multicelular*), pero la célula necesita energía para respirar (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 23.10 Con la respiración los organismos obtienen energía para realizar actividades y funciones (Flores *et al.*, 2000).
- 23.11 El oxígeno es vital para la vida y el organismo lo utiliza para realizar diversas funciones (Flores *et al.*, 2000).
- 23.12 El oxígeno sirve como una fuente de energía para las células del cuerpo (Songer y Mintzes, 1994).
- 23.13 El oxígeno nos da energía (Brinkman *et al.*, 1994).
- 23.14 Una parte del oxígeno que se produce en los pulmones va a las células para que puedan realizar sus funciones, aunque ellas también dan oxígeno a la sangre (Núñez y Banet, 1996).

c24. En la respiración del organismo multicelular, el oxígeno llega a las células.

Ideas previas

- 24.1 En la respiración (*del organismo multicelular*), el oxígeno llega a las células (Flores *et al.*, 2000).
- 24.2 El oxígeno se difunde de los pulmones a las células sanguíneas (Songer y Mintzes, 1994).

24.3 El oxígeno necesita ser llevado a cada célula (Songer y Mintzes, 1994).

M5. TRASLADO DE LO MICROSCÓPICO A LO MACROSCÓPICO. Traslado de las estructuras y funciones microscópicas al nivel macroscópico.

CTG 10. Algunas de las características que tiene el organismo multicelular se derivan directamente de las características que tiene la célula; o bien los productos que se elaboran en la célula sirven para todo el organismo.

c1. La célula es una entidad viva, por lo tanto, los seres formados por células están vivos.

Ideas previas

- 1.1 La célula es una entidad viviente (Hackling, 1982).
- 1.2 Los seres vivos están hechos de células vivas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 1.3 Las plantas no están formadas de células porque no son seres vivos (Banet y Ayuso, 2000).

c15. El color verde de los vegetales se debe a que las paredes celulares son verdes.

- 15.1 Las paredes celulares son de color verde (Treagust y Haslam, 1986).
- 15.2 La celulosa es de color verde (Treagust y Haslam, 1986).

c12. Las células animales respiran oxígeno y las células vegetales dióxido de carbono.

Ideas previas

- 12.1 La respiración de las células animales y vegetales es diferente (Flores *et al.*, 2000).
- 12.2 Las células vegetales respiran dióxido de carbono, las células animales oxígeno (Flores *et al.*, 2000).

c11. La respiración es a nivel celular.

Ideas previas

- 11.1 En las células se lleva a cabo la respiración; las células requieren oxígeno (Flores *et al.*, 2000).
- 11.2 En la mitocondria se lleva a cabo la respiración (procesa oxígeno) (Flores *et al.*, 2000).
- 11.3 En los cloroplastos se lleva a cabo la respiración aerobia (fotosíntesis) (García, 1991).

CTG 11. Lo que se elabora en la célula va a todo el organismo. Las células son "fábricas" de producción de proteínas o energía para todo el organismo.

c13. Algunas células se especializan en la producción de proteínas y otras en la producción de energía para todo el organismo.

Ideas previas

- 13.1 Las células especializadas desempeñan funciones específicas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 13.2 Las células están especializadas, existen algunas que se dedican a la producción de proteínas para todo el organismo, otras que producen energía (Dreyfus y Jungwirth, 1989).
- 13.3 Algunas células se especializan en la producción de proteínas y las otras no tienen mitocondrias (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 13.4 ... algunas células se han especializado en la producción de proteínas que son transportadas a otras células del organismo (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

M6. ANTROPOMÓRFICO. Traslado de los atributos humanos hacia la célula.

CTG 12. Algunas estructuras celulares reciben nombres similares a los de los órganos del organismo multicelular, y otras realizan funciones análogas a las del ser humano.

c26. La membrana es selectiva porque reconoce y deja pasar los materiales que son necesarios para la célula.

Ideas previas

- 26.1 Los alimentos entran a la célula a través de la membrana ya que ésta sabe que debe dejar entrar y que es bueno para la célula (Dreyfus y Jungwirth, 1989).
- 26.2 La membrana es selectiva en el sentido de que reconoce los materiales que deben entrar y rechaza los otros destruyéndolos (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 26.3 La membrana celular tiene la capacidad de reconocer qué requiere y qué no requiere la célula (Flores *et al.*, 2000).
- 26.4 La célula toma lo que necesita por medio de la membrana o pared celular (Flores *et al.*, 2000).
- 26.5 La célula sólo toma del exterior las moléculas que ella necesita (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

c27. El núcleo controla, regula y supervisa los procesos y funciones de la célula de la misma forma que el cerebro actúa sobre el cuerpo.

Ideas previas

- 27.1 El núcleo es parte de la célula (Hackling, 1982).
- 27.2 El núcleo "supervisa" las funciones de la célula (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 27.3 El núcleo supervisa la función de la célula de la misma forma que el cerebro supervisa la función del cuerpo (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 27.4 El núcleo regula todos los procesos y funciones de la célula (Flores *et al.*, 2000).
- 27.5 El núcleo controla a la célula (Hackling, 1982).
- 27.6 El núcleo celular controla y regula la actividad celular, éste sabe como debe funcionar la célula y si las cosas no van bien cambia las órdenes, como lo hace el cerebro (Dreyfus y Jungwirth, 1989).
- 27.7 El núcleo contiene la información genética (Hackling, 1982).
- 27.8 La información concerniente a las funciones de la célula está en el núcleo y se transmite completamente en cantidades iguales a las células hijas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

c28. Las células tienen sistemas digestivos pequeños y aparato de Golgi.

Ideas previas

- 28.1 Las células pequeñas tienen sistemas digestivos pequeños (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 28.2 Diferentes estructuras en la célula desempeñan distintas funciones como la mitocondria, aparato de Golgi, etc. (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

CTG 13. La energía, cuya fuente principal son las proteínas, da fuerza a las células para realizar ciertas funciones.

c9. Todas las células necesitan energía, las que no se mueven no la necesitan.

Ideas previas

- 9.1 Todas las células necesitan energía (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 9.2 Las células que no se mueven, no necesitan energía (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

c10. Las células utilizan energía (proteínas) dentro y fuera de ellas, para realizar sus funciones.

Ideas previas

- 10.1 La principal fuente de energía en las células son las proteínas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 10.2 Algunas células utilizan energía dentro de ellas (para las necesidades internas), y otras fuera de ellas (como parte de un tejido, por ejemplo el tejido muscular para hacerlo mover) (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

M7. ESTÁTICO. La forma y el tamaño celular no cambian.

CTG 14. Todas las células de los organismos de una especie tienen la misma forma y tamaño

c29. La forma de las células no cambia por la reproducción celular ni por el crecimiento del organismo del que forman parte.

Ideas previas

- 29.1 Cuando se reproducen las células no cambian de forma (Flores *et al.*, 2000).
- 29.2 Las células no cambian de forma conforme el organismo se desarrolla (Flores *et al.*, 2000).

c30. Las células de un mismo organismo y de una misma especie tienen el mismo tamaño y la misma forma.

Ideas previas

- 30.1 Todas las células de las plantas son iguales en tamaño (Flores *et al.*, 2000).
- 30.2 Las células de un mismo organismo no cambian de tamaño (Flores *et al.*, 2000).
- 30.3 Todas las células de animales son iguales entre sí; el mismo criterio se aplica a las hojas de los vegetales (Flores *et al.*, 2000).
- 30.4 Todas las células de un mismo organismo tienen la misma forma (Flores *et al.*, 2000).

En la Figura IV.1 se presenta un esquema que permite visualizar de manera integral la categorización de las ideas previas para el subtema de Estructura y Fisiología de la célula. En el esquema se muestran los 4 niveles de clasificación: marcos, categorías, concepciones e ideas previas.

**FIG. IV.1 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato
en torno a la estructura y fisiología de la célula.
Marcos 1, 2 y 3**

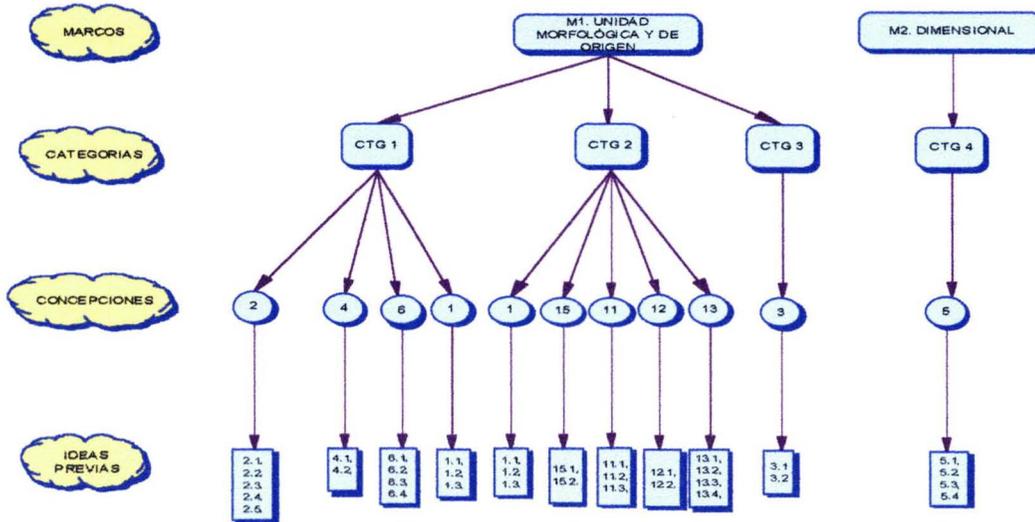
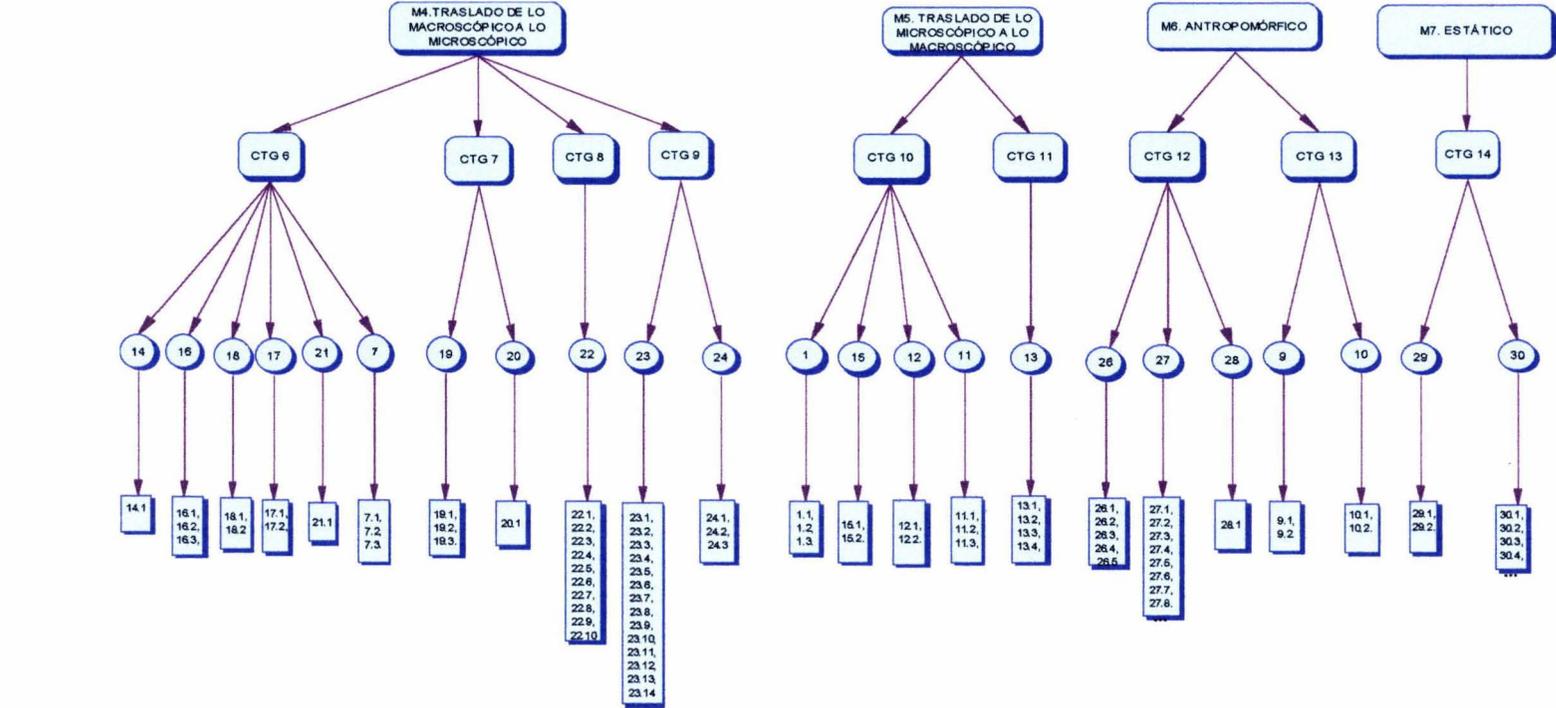


FIG. III.2 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la estructura y fisiología de la célula.

Marcos 4, 5, 6 y 7



IV.1.1 Análisis de las representaciones conceptuales de los estudiantes de bachillerato en torno a la estructura y fisiología de la célula

Para hacer el análisis de las representaciones conceptuales de los estudiantes en torno a la estructura y fisiología de la célula, se comenzará con el primer marco denominado Unidad Morfológica y de Origen de la Célula (M1). Dentro de este marco se señala que los seres vivos están formados por unidades vivas (con características específicas) que permiten la continuidad de la vida.

Las categorías que se encuentran bajo este marco se refieren a los postulados de la teoría celular. En lo referente a uno de los aspectos de la teoría celular, el morfológico (CTG 1), los estudiantes reconocen que "los seres vivos están hechos de células" (Dreyfus y Jungwirth, 1988) y que "la célula es el bloque básico de construcción de los seres vivos" (Hackling, 1982). Entre las características estructurales que mencionan están su forma y su naturaleza tridimensional. Aunque para los alumnos de bachillerato las células pueden tener distintas formas, su representación común es la de una estructura redonda (Flores *et al.*, 2000). De acuerdo con Durfort (1998) un círculo está asociado con un prototipo de célula animal, específicamente con la forma de un eritrocito de la sangre de mamífero. Por lo cual sugiere la importancia de insistir a los estudiantes, en que "no hay ninguna forma que sea indicativa de un prototipo celular ni en un mismo tejido ni en el organismo entero" (Durfort, 1998). Al hacer una visión de conjunto, los estudiantes sostienen que la disposición que tienen las células dentro de un tejido es semejante a la disposición que tienen los ladrillos de un muro o al de un panal de abejas (Díaz y Jiménez, 1996).

Para el segundo principio de la teoría celular que corresponde al aspecto fisiológico (CTG 2) se encontraron algunas concepciones que expresan que "las células son las unidades funcionales de los organismos multicelulares" (Levine, 1994). Lo cual también podría verse desde otra perspectiva como es la de que las células en conjunto manifiestan una característica que se refleja en el organismo multicelular, o bien que en conjunto con otras células realizan ciertas funciones que se manifiestan en el multicelular. Por ejemplo, los estudiantes al reconocer que la célula es una entidad viva, aceptan implícitamente que el conjunto de entidades vivas le confieren al organismo multicelular las propiedades de vida, de tal forma que reconocen que los seres formados por células están vivos (Hackling, 1982; Dreyfus y Jungwirth, 1988). A partir de esta generalización es coherente

encontrar ideas como la siguiente: "las plantas no están formadas de células porque no son seres vivos" (Banet y Ayuso, 2000).

Por otro lado, continuando con el postulado de que las células son las unidades funcionales de los organismos multicelulares, se encuentran otras concepciones como la de que el color verde de los vegetales se debe al color de las paredes celulares en conjunto. Otro ejemplo es el de la respiración que realizan las células se traduce en la respiración del organismo multicelular. Por último, los alumnos piensan que algunas células se especializan en la producción de proteínas y otras en la producción de energía para todo el organismo. En resumen, el trabajo que realizan las células en conjunto se traduce en las funciones del organismo multicelular o en su estructura, aunque estas no estén bien entendidas.

En la cuestión del origen de las células, que corresponde al tercer postulado de la teoría celular (CTG 3) los alumnos afirman que las células provienen de células preexistentes (Dreyfus y Jungwirth, 1988; Smith, 1991). Faltaría investigar como es que conciben la reproducción celular.

En el segundo marco se mencionan las dimensiones celulares, de ahí el nombre de Marco Dimensional (M2). Básicamente hace referencia a la confusión que tienen los estudiantes sobre las dimensiones celulares y moleculares (CTG 4), ya que probablemente no poseen representaciones que los ayuden a construir el nivel microscópico celular y subcelular. Es pertinente señalar que este problema podría ser un factor que propicie el escaso entendimiento de los estudiantes al realizar sus prácticas de biología celular o citología, ya que fácilmente podrían confundir las estructuras que observan al microscopio.

El tercer marco es el Marco Teleológico (M3), en él se puede apreciar con bastante claridad un enunciado de tipo teleológico, es decir uno que hace referencia a los casos en los cuales se usan los fines para explicar cómo están construidas ciertas estructuras. La categoría (CTG 5) dice así: "El fin (función celular) explica como están construidas ciertas estructuras (forma celular)", lo que significa que dependiendo de la función que realicen las células será su forma, concepción que corresponde a un enunciado de este tipo.

El marco denominado Traslado de las características macroscópicas a las microscópicas corresponde al cuarto marco (M4). En él se percibe la transferencia que hacen los estudiantes del mundo macroscópico del organismo multicelular hacia el microscópico

(celular). Esta transferencia se puede apreciar de diversas maneras, mismas que se encuentran integradas en cuatro categorías. En la primera (CTG 6) se puede observar la transferencia directa de las características del organismo multicelular a la célula. Dentro de estas se encuentra el aspecto de la célula, el cual –de acuerdo con los alumnos- es semejante al aspecto del multicelular. Por lo tanto para determinar el aspecto que tiene una célula basta con ver el aspecto que tiene el organismo multicelular y hacer la transferencia. Otras características como la forma, el crecimiento y el tamaño de la célula también dependen de manera directa del organismo multicelular. En cuanto a la forma es interesante notar que para los alumnos, existen tantas formas celulares como formas de organismos macroscópicos se encuentren en la naturaleza (Flores *et al.*, 2000). O bien que existen tantas formas celulares como partes del cuerpo haya o funciones realicen las células (Flores *et al.*, 2000). En lo que respecta al crecimiento de la célula, los alumnos piensan que la célula recibe órdenes acerca de cuando dejar de crecer directamente del cerebro del organismo multicelular. Sin duda todo lo anterior influye en los criterios que los alumnos utilizan para determinar cual será el aspecto, forma, crecimiento y tamaño de las células.

En la segunda categoría (CTG 7) se encuentran aquellas concepciones que expresan que la forma y tamaño de la célula están influidos por los problemas que tenga el organismo al que pertenecen las células, o bien por factores externos a este. En esta categoría la forma y el tamaño celular ya no sólo dependen de las características estructurales del organismo, sino que se ven afectados por problemas que pudiera tener el organismo multicelular como son: problemas de tipo genético (enfermedades), de tipo físico, químico (alimentación, agua, etc.) e incluso social y aún más allá, los estudiantes piensan que los factores ambientales también modifican la forma y el tamaño de la célula.

La tercera categoría (CTG 8) hace referencia a que el mismo proceso fisiológico que ocurre en el organismo multicelular se lleva a cabo en la célula pero a una escala menor. En el caso del proceso de la digestión, al hablar a nivel microscópico, digestión en las células significa romper las moléculas en pedazos suficientemente pequeños que luego pasarán a la sangre.

En la última categoría (CTG 9) se aprecia que los estudiantes piensan que los productos provenientes del nivel multicelular llegan hasta la célula, por ejemplo la energía que requiere la célula para realizar sus funciones puede provenir ya sea del agua, del alimento o de la respiración del organismo multicelular, sin tener claridad en cuales son las sustancias nutritivas y en qué consiste la respiración.

El quinto marco (M5) corresponde al denominado Traslado de lo Microscópico a lo Macroscópico. En este marco se observa que las características de la célula influyen en el organismo multicelular, por lo que se considera que este marco es opuesto al anterior.

En la primera categoría (CTG 10) se aprecia que algunas características que tiene el organismo multicelular se derivan directamente de las características que tiene la célula. Por ejemplo, la vida, el color verde en los vegetales y la respiración. La vida porque la célula es una entidad viva y al estar los organismos formados por células, automáticamente se convierten en seres vivos. El color verde en los vegetales porque – según los alumnos- este se debe a que la pared celular es verde o que un compuesto de la pared vegetal es verde. Y la respiración porque si los animales respiran oxígeno, los alumnos extrapolan esto a cada una de sus células, lo mismo sucede en las células vegetales, las cuales respiran dióxido de carbono al igual que el multicelular.

La segunda categoría (CTG 11) indica que la célula es una especie de fábrica de producción de proteínas o de energía, y que estos productos sirven para suplir las necesidades de todo el organismo.

El marco antropomórfico corresponde al sexto marco (M6). Este se refiere al traslado de los características propias del ser humano hacia la célula (CTG 12) ya que los alumnos atribuyen a la membrana celular y al núcleo cualidades de inteligencia como son las de tener capacidad de reconocer los materiales necesarios para la célula (membrana) y supervisar las funciones celulares (núcleo). Además en este marco se aprecia que los alumnos emplean el lenguaje con tintes antropomórficos, por ejemplo al decir que las células tienen "sistemas digestivos pequeños" (Dreyfus y Jungwirth, 1988); y le atribuyen al cuerpo de Golgi la denominación de "aparato de Golgi".

Por otra parte, dentro de este mismo marco existe otra categoría (CTG 13) en la que se expresa que la energía "da fuerza a las células" para realizar sus funciones. Las concepciones que se encuentran bajo este marco probablemente tengan como base la idea de que nuestro cuerpo tendrá un mejor desempeño si obtiene las proteínas necesarias. Al trasladar esta idea a la célula, los estudiantes dicen que ésta podrá desempeñar sus funciones gracias a la energía aportada por las proteínas (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

Por último se encuentra el marco estático (M7) en el que se señala que todas las células de los organismos de una especie tienen la misma forma y tamaño (CTG 14). Esto se refiere a que la forma y el tamaño celular no se modifican porque no se ven afectadas por

los cambios que se llevan a cabo en el organismo macroscópico, como son el desarrollo o por la reproducción celular (Flores *et al.*, 2000). De ahí que los estudiantes sostengan que las células de una misma especie son iguales en forma y tamaño (Flores *et al.*, 2000). Esto sugiere el desconocimiento de la diversidad celular y de los cambios morfológicos que pueden tener las células incluso en un mismo tipo celular, por ejemplo las células del tejido conjuntivo (Durfort, 1998).

IV.2 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato sobre la osmosis y la difusión

M8. TELEOLÓGICO. Igualar las concentraciones es el propósito de la osmosis y la difusión.

CTG 15. Los solutos en la difusión y el solvente en la osmosis, se mueven de una mayor a una menor concentración para uniformizar su distribución en la solución (difusión) o en ambos lados de la membrana (osmosis).

c31. Durante la difusión los solutos se mueven de un área de alta a una de baja concentración hasta que las dos áreas son uniformes.

Ideas previas

- 31.1 Durante la difusión, las partículas se mueven de una alta a una baja concentración porque tienden a moverse hasta que las dos áreas son isotónicas y luego las partículas dejan de moverse (Odom, 1995).
- 31.2 Durante la difusión, las partículas se mueven de una alta a una baja concentración porque hay demasiadas partículas que se amontonan en un área por lo tanto se mueven hacia un área con más espacio (Odom, 1995).
- 31.3 La difusión involucra el movimiento de los solutos mientras que la osmosis involucra el movimiento de los solventes (Friedler *et al.*, 1985).

c32. Osmosis es el paso de agua a través de una membrana semipermeable desde regiones de mayor concentración hacia regiones de menor concentración, hasta igualarlas en ambos lados de la membrana.

Ideas previas

- 32.1 Todas las células están hechas de $\frac{3}{4}$ partes de agua y tienen membranas selectivas (a veces llamadas semipermeables) (Dreyfus y Jungwirth, 1988).
- 32.2 La difusión involucra el movimiento de los solutos mientras que la osmosis involucra el movimiento de los solventes (Friedler *et al.*, 1985).
- 32.3 Osmosis es el movimiento neto de agua cuando cruza ambos lados de la membrana (Zuckerman, 1994).
- 32.4 La dirección en la que se realiza la osmosis va desde regiones de mayor concentración hacia regiones de menor concentración (Zuckerman, 1994).
- 32.5 El agua pasa a través de una membrana para igualar las concentraciones (o cantidades) (Zuckerman, 1994).
- 32.6 Osmosis es el resultado del movimiento molecular al azar (Zuckerman, 1994).
- 32.7 La ósmosis es producto de un deseo o una necesidad para igualar concentraciones, por lo que es la causa del movimiento del agua a través de una membrana (Friedler *et al.*, 1987).

- 32.8 En la osmosis las moléculas de agua dejarán de moverse cuando las concentraciones en ambos lados de la membrana sean iguales (Friedler *et al.*, 1987).
- 32.9 El gradiente de concentración disminuye durante la osmosis (Zuckerman, 1994).
- 32.10 La ósmosis es el movimiento de una solución azucarada débil hacia una solución más fuerte (Soyibo, 1983).

c33. El equilibrio osmótico se alcanza cuando las concentraciones o cantidades de agua son iguales en ambos lados de la membrana.

Ideas previas

- 33.1 Las concentraciones de agua a través de la membrana deben ser iguales en el equilibrio osmótico (Zuckerman, 1994).
- 33.2 Las cantidades de agua que atraviesan la membrana deben ser iguales en el equilibrio osmótico (Zuckerman, 1994).
- 33.3 El equilibrio osmótico no puede ser alcanzado a menos que concentraciones (o cantidades) se igualen a través de la membrana (Zuckerman, 1994).

M9. DIMENSIONAL. Confusión entre lo que es el solvente y el soluto.

CTG 16. La dirección en la que se realiza la osmosis depende de lo que se entiende por "hipertónico", si se refiere a las moléculas del solvente (agua) o a los solutos.

c34. La dirección en la que se efectúa la osmosis va desde la solución hipertónica hacia la hipotónica. La solución hipertónica tiene una mayor concentración de moléculas de agua y la hipotónica una menor concentración de ellas.

Ideas previas

- 34.1 Dos columnas de agua están separadas por una membrana a través de la cual sólo puede pasar el agua. El lado 1 contiene un colorante y agua, el lado 2 contiene agua pura. Después de dos horas, el nivel del agua en el lado 1 será más alto que el del lado 2 porque el agua se moverá de la solución hipertónica a la hipotónica (Odom, 1995).
- 34.2 En un recipiente dividido en dos por una membrana en el cual, el lado 1 es una solución salina al 10% y el lado 2 es una solución salina al 15%, el lado 1 es hipertónico con respecto al lado 2 porque el agua se mueve de una concentración alta a una baja (Odom, 1995).
- 34.3 La dirección en la que se realiza la osmosis va desde regiones de mayor concentración hacia regiones de menor concentración (Zuckerman, 1994).

c35. La dirección en la que se efectúa la osmosis va desde la solución hipertónica hacia la hipotónica. La solución hipertónica tiene una mayor concentración de solutos y la hipotónica una menor concentración de ellos.

Ideas previas

- 35.1 Dos columnas de agua están separadas por una membrana a través de la cual sólo puede pasar el agua. El lado 1 contiene un colorante y agua, el lado 2 contiene agua pura. Después de dos horas, el nivel del agua en el lado 1 será más alto que el del nivel 2 porque el agua se mueve de una baja a una alta concentración (Odom, 1995).
- 35.2 Dos columnas de agua están separadas por una membrana a través de la cual sólo puede pasar el agua. El lado 1 contiene un colorante y agua, el lado 2 contiene agua pura. Después de dos horas, el nivel del agua en el lado 1 será más bajo que el del lado 2 porque el agua se moverá de la solución hipertónica a la hipotónica (Odom, 1995).

- 35.3 En un recipiente dividido en dos por una membrana en el cual, el lado 1 es una solución salina al 10% y el lado 2 es una solución salina al 15%, el lado 1 es hipotónico con respecto al lado 2 porque el agua se mueve de una concentración alta a una baja (Odom, 1995).
- 35.4 La dirección en la que se realiza la osmosis va desde regiones de mayor concentración hacia regiones de menor concentración (Zuckerman, 1994).

M10. TRASLADO DE PROCESOS MACROSCÓPICOS AL NIVEL MICROSCÓPICO.

CTG 17. La plasmólisis es explicada utilizando una analogía a escala macroscópica: la sal absorbe el agua.

c36. Al colocar una célula vegetal en un medio salino, el tamaño de la vacuola central disminuye debido a que la sal absorbe el agua que existe en ella.

Ideas previas

- 36.1 Si una célula vegetal de agua dulce se colocara en un vaso de precipitados con una solución salina al 25%, la vacuola central disminuiría en tamaño debido a que la sal absorbe el agua de la vacuola central (Odom, 1995).
- 36.2 Las vacuolas son almacenes de agua (Flores *et al.*, 2000).

IV.2.1 Análisis de las representaciones conceptuales en torno a los procesos de osmosis y difusión

Las células están rodeadas por membranas semipermeables que permiten la entrada de nutrientes hacia el interior de ellas y la salida de desechos (Holum, 2000) y de algunas sustancias como la insulina que producen las células del páncreas (http://mx.geocities.com/avolaje/Lacelula_b1/cubiertascelulares_b1.html).

El transporte de moléculas pequeñas se lleva a cabo a través de dos mecanismos llamados transporte pasivo y transporte activo. El transporte pasivo se caracteriza por el desplazamiento de moléculas a través de la membrana celular en respuesta a gradientes de concentración, sin que la célula gaste energía. La difusión simple y la osmosis son dos mecanismos de transporte pasivo. Por difusión se entiende el movimiento neto de moléculas de una región de alta concentración a una de baja concentración, resultando a la larga en una distribución uniforme de moléculas. Este movimiento es el resultado de movimientos moleculares al azar. Por su parte la osmosis es la difusión de moléculas de agua a través de una membrana diferencialmente permeable (Gottfried, 1993).

Entender la difusión y la osmosis es clave para comprender muchos procesos biológicos. La difusión es el mecanismo principal mediante el cual el dióxido de carbono llega a los sitios de la fotosíntesis en los cloroplastos (Chang, 1987). También el mecanismo

respiratorio en branquias y pulmones es consecuencia de fenómenos de difusión (www.biosci.uga.edu/almanac/bio_103/notes/may_13.html).

Así que a través de la difusión simple entran moléculas lipídicas como las hormonas esteroideas, anestésicos como el éter y fármacos liposolubles. Y sustancias apolares como el oxígeno y el nitrógeno atmosférico. Así mismo entran moléculas polares de muy bajo tamaño como el agua, el dióxido de carbono, el etanol y la glicerina (<http://www.arrakis.es/~lluengo/transporte.html>).

Por otra parte comprender el concepto de osmosis es fundamental para comprender: el consumo de agua por las plantas, balance de agua en organismos terrestres y acuáticos, presión de turgencia en plantas (Odom y Barrow, 1993) y los sistemas de transporte en plantas y animales (Zuckerman, 1994).

Muchas investigaciones en el campo de la enseñanza de las ciencias han dado a conocer que la osmosis es difícil de comprender por los estudiantes de bachillerato (Okeke, 1980; Friedler *et al.*, 1985,1987). Por su parte Johnstone y Mahmoud (1980) constataron que el tema de "osmosis y potencial de agua" era visto por los estudiantes y maestros como el concepto que causaba mayores problemas de comprensión. De acuerdo con Friedler *et al.*, (1985 y 1987) ésta dificultad se debe a varias razones, entre ellas están que el estudiante requiere tener conocimientos de física y química tales como soluciones, solubilidad, soluto, concentración, dilución, naturaleza de la materia; tópicos que fueron encontrados ser especialmente difíciles para los estudiantes de biología. Además de conocer conceptos tales como difusión, plasmolisis, turgencia, membrana selectiva (Johnstone y Mahmoud, 1980; Friedler *et al.*, 1987).

Friedler *et al.* (1985) encontraron que los estudiantes utilizan las definiciones de osmosis y difusión sin comprenderlas totalmente. Por otra parte observaron que los estudiantes utilizan ampliamente la teleología y el antropomorfismo en sus explicaciones por ejemplo "el agua sale para igualar las concentraciones". Y que los términos de potencial de agua, potencial osmótico, presión osmótica son raramente estudiados en las escuelas equivalentes a nuestros Bachilleratos.

En otra investigación Marek *et al.* (1986) descubrieron que menos de 2 % de los estudiantes comprendían el concepto de difusión mientras que casi 63 % no respondieron o mostraron una mala comprensión sobre ella.

Por su parte Westbrook y Marek (1991) llegaron a las siguientes conclusiones:

- a) Independientemente de la edad del estudiante o del nivel educativo en el que se encuentre (secundaria, preparatoria o universidad), prevalecen las interpretaciones erróneas sobre la difusión,
- b) la perspectiva molecular de la difusión aumenta a través de los niveles educativos,
- c) estar expuesto más veces al concepto no lleva a una comprensión mayor del mismo,
- d) los estudiantes utilizan un vocabulario científico vago cuando se les pide que describan este proceso.

Por las concepciones expuestas de los estudiantes de bachillerato en la categorización, se observa que saben de manera general a lo que se refiere la osmosis (Friedler *et al.*, 1985, 1987; Zuckerman, 1994). Sin embargo parece haber cierta confusión en el uso de los conceptos por parte de los estudiantes, como se observa en la categoría 7, la cual señala que los alumnos determinan la dirección en la que se moverán las moléculas, a partir de su concepto de hipertónico. Si su concepto de hipertónico involucra concentración de solutos o concentración de moléculas de agua (Zuckerman, 1994; Odom, 1995). Esto puede tener su origen en los textos que revisan para estudiar estos procesos, ya que muchas veces las definiciones de difusión y osmosis son expresadas sin enfatizar si se está hablando de solutos o de agua.

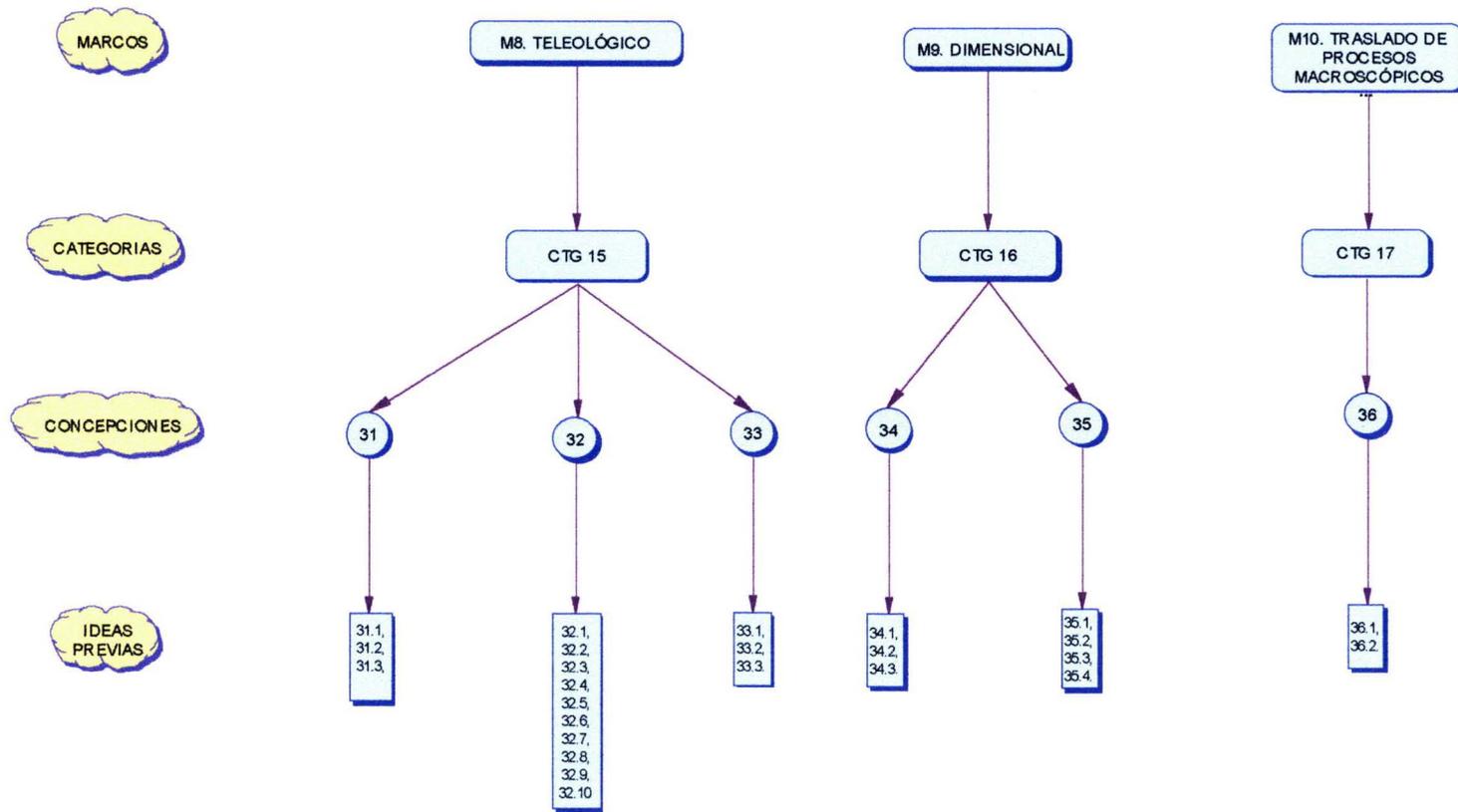
Algunas ideas previas llaman la atención por su naturaleza claramente antropomórfica y teleológica. Tal es el caso de la siguiente "la osmosis es un producto de un deseo o una necesidad para igualar concentraciones, por lo que es la causa del movimiento del agua a través de una membrana" (Friedler *et al.*, 1987). Esta concepción refleja que el objetivo de la osmosis es igualar las concentraciones, y esto es el producto de un deseo ¿de quién? Posiblemente de la membrana. Esta idea bien podría estar ligada con la de "La membrana es selectiva en el sentido de que reconoce los materiales que deben entrar y rechaza los otros destruyéndolos" (Dreyfus y Jungwirth, 1988). Uniendo significados, los alumnos se refieren a que la membrana no sólo reconoce los materiales que deben entrar a la célula sino que también "desea" igualar las concentraciones en el interior y el exterior de la célula.

Aunque los estudiantes tengan conocimientos básicos sobre la osmosis, estos siguen siendo insuficientes para explicar la razón por la cual ocurre la plasmólisis en una célula que ha sido puesta en un medio salino. Al no poder hacerlo con el uso de los conceptos

químicos y biológicos, recurren al uso de una analogía a escala macroscópica, misma que satisface su explicación porque tal vez la han constatado en su vida cotidiana, pero la realidad es que no han integrado los conocimientos químico-biológicos acumulados en su aprendizaje de la ciencia.

En la Figura IV.3 se presenta un esquema que permite visualizar de manera integral la categorización de las ideas previas para el subtema de Osmosis y Difusión. En él se muestran los 4 niveles de clasificación: marcos, categorías, concepciones e ideas previas.

FIG. IV.3 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la osmosis y difusión.



IV.3 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato sobre fotosíntesis y respiración

M11. SIMPLISTA. El proceso de respiración se reduce a un intercambio de gases con el ambiente. En los vegetales es la fotosíntesis.

CTG 18. Animales y vegetales respiran. Los animales respiran oxígeno y liberan dióxido de carbono y los vegetales realizan la fotosíntesis.

c37. La respiración de las plantas es la fotosíntesis, la cual consiste en tomar dióxido de carbono y liberar oxígeno en presencia de luz.

Ideas previas

- 37.1 La fotosíntesis es la respiración de las plantas (Amir y Tamir, 1990).
- 37.2 La fotosíntesis es el proceso de respiración en plantas utilizando la luz (Pashley, 1994).
- 37.3 La fotosíntesis es el proceso por el cual la planta respira, toma dióxido de carbono y saca oxígeno (Pashley, 1994).
- 37.4 La fotosíntesis ocurre con la ayuda del dióxido de carbono y el oxígeno es liberado, y esto es la respiración (Pashley, 1994).
- 37.5 La luz es importante para la respiración de las plantas (Flores *et al.*, 2000).
- 37.6 La luz es necesaria para la fotosíntesis (Bishop, 1986).

c38. Los animales y los vegetales respiran, si no la hacen continuamente se asfixian y mueren (una señal de asfixia en los vegetales es el cambio de color en las hojas).

Ideas previas

- 38.1 Los animales y los vegetales respiran (García, 1991).
- 38.2 La respiración en animales y en vegetales consiste solamente en un intercambio de gases con el ambiente (García, 1991).
- 38.3 Las plantas respiran como las personas y otros animales (Cañal, 1999).
- 38.4 Las plantas respiran como los animales, inhalando y exhalando aire. Si no lo hacen continuamente, se asfixian y mueren (Cañal, 1999).
- 38.5 La respiración es una función continua de las plantas (Flores *et al.*, 2000).
- 38.6 La respiración de las plantas verdes es un intercambio gaseoso inverso al de los animales (Cañal, 1999).
- 38.7 Las plantas poseen una forma de respiración diferente a los animales (Cañal, 1999).
- 38.8 Los animales son distintos de los vegetales en cuanto a la respiración (García, 1991).
- 38.9 La respiración es un intercambio de gases: dióxido de carbono y oxígeno (Flores *et al.*, 2000).
- 38.10 En la respiración, el oxígeno se transforma en dióxido de carbono (Flores *et al.*, 2000).
- 38.11 Las hojas cambian de color porque no pueden respirar (así como la cara de una persona) (Wandersee, 1983).

c39. El proceso de respiración se lleva a cabo en los animales y el de fotosíntesis en las plantas.

Ideas previas

- 39.1 La respiración se lleva a cabo en los animales, y la fotosíntesis en las plantas (Barrass, 1984).

- 39.2 La fotosíntesis se lleva a cabo por las plantas en la luz y la respiración se lleva a cabo por los animales 24 horas al día (Pashley, 1994).
- 39.3 La fotosíntesis se lleva a cabo por los autótrofos y la respiración se lleva a cabo en los productores y consumidores (Pashley, 1994).
- 39.4 Las plantas no respiran (Cañal, 1999).
- 39.5 El proceso de la fotosíntesis en las plantas verdes equivale al de respiración en animales (García, 1991).

M12. COMPLEMENTARIEDAD. Fotosíntesis y respiración son dos procesos que se efectúan en las plantas. Ambos se complementan.

CTG 19. Los productos obtenidos durante la fotosíntesis se utilizan en la respiración y viceversa.

c40. En los procesos de fotosíntesis y respiración de las plantas, tienen lugar las mismas reacciones químicas pero en direcciones opuestas, por lo que ambos procesos son complementarios.

Ideas previas

- 40.1 En el día, las plantas llevan a cabo la fotosíntesis y liberan oxígeno (Flores *et al.*, 2000).
- 40.2 En el día se realiza la fotosíntesis y en la noche la respiración en las plantas (Barrass, 1984).
- 40.3 En la noche, las plantas liberan dióxido de carbono (Flores *et al.*, 2000).
- 40.4 En la fotosíntesis y la respiración las mismas reacciones químicas tienen lugar, pero en direcciones opuestas (Pashley, 1994).
- 40.5 En la fotosíntesis la glucosa es formada y el oxígeno es eliminado, mientras que en la respiración la glucosa es utilizada y el dióxido de carbono es eliminado (Pashley, 1994).
- 40.6 La fotosíntesis es una respiración inversa (Cañal, 1999).
- 40.7 La fotosíntesis es opuesta a la respiración (Amir y Tamir, 1990).
- 40.8 La fotosíntesis y la respiración son procesos complementarios (Amir y Tamir, 1994).
- 40.9 El dióxido de carbono liberado por la respiración es usado en la fotosíntesis (Amir y Tamir, 1994).
- 40.10 En un experimento de laboratorio, la concentración de oxígeno en el sistema se relaciona a la fotosíntesis, mientras que la concentración de dióxido de carbono se relaciona a la respiración (Lazarowitz y Penso, 1992).
- 40.11 La energía luminosa es convertida en energía química durante la fotosíntesis y posteriormente se libera en la respiración (Amir y Tamir, 1994).

CTG 20. Agua, luz y dióxido de carbono en las hojas de las plantas interactúan para producir azúcar, materiales orgánicos y ATP durante la fotosíntesis.

c41. Los componentes que participan en el proceso de fotosíntesis son el agua, la luz solar y el dióxido de carbono y los productos que se obtienen son azúcares, materiales orgánicos y ATP.

Ideas previas

- 41.1 La energía luminosa, el agua y el dióxido de carbono son componentes que participan en el proceso de la fotosíntesis. Los productos de este proceso son azúcares y ATP (Barak y Gorodetsky, 1999).
- 41.2 En la fase luminosa de la fotosíntesis, se construyen las moléculas de ATP (Lazarowitz y Penso, 1992).
- 41.3 La energía luminosa es convertida en energía química durante la fotosíntesis y posteriormente se libera en la respiración (Amir y Tamir, 1994).
- 41.4 La luz es necesaria para la fotosíntesis (Bishop, 1986).

- 41.5 Cuando el Sol está directamente sobre la planta, ésta realizará la fotosíntesis (Anderson y Sheldon, 1990).
- 41.6 La fotosíntesis es el proceso de respiración en plantas utilizando la luz (Pashley, 1994).
- 41.7 Durante la fotosíntesis, la planta rompe el agua en oxígeno e hidrógeno (Lazarowitz y Penso, 1992).
- 41.8 Las plantas convierten el agua en azúcar (Wandersee, 1983).
- 41.9 Si a las plantas les falta agua, dejan de realizar la fotosíntesis (Flores *et al.*, 1999).
- 41.10 Las plantas verdes convierten el Sol y el dióxido de carbono en clorofila (Anderson y Sheldon, 1990).
- 41.11 Se construyen materiales orgánicos durante la fotosíntesis (Lazarowitz y Penso, 1992).
- 41.12 Las mitocondrias transforman la energía solar en nutrientes (Flores *et al.*, 2000).
- 41.13 Los cloroplastos transforman la energía solar en nutrientes (Flores *et al.*, 2000).

c42. La fotosíntesis se realiza en las hojas de las plantas porque capturan la energía luminosa y el agua.

Ideas previas

- 42.1 En las hojas se realiza la fotosíntesis (Flores *et al.*, 2000).
- 42.2 En las hojas se lleva a cabo la fotosíntesis y el intercambio de gases (Flores *et al.*, 2000).
- 42.3 El papel principal de las hojas es capturar el calor del sol (Wandersee, 1983).
- 42.4 El vapor de agua entra a la hoja durante la fotosíntesis (Wandersee, 1983).
- 42.5 El papel principal de las hojas es capturar la lluvia y el vapor de agua del aire (Wandersee, 1983).
- 42.6 Las hojas beben el agua del rocío (Wandersee, 1983).
- 42.7 La lluvia entra a las hojas por medio de hoyos (Wandersee, 1983).
- 42.8 Las hojas cambian de color porque no pueden respirar (así como la cara de una persona) (Wandersee, 1983).

M13. RESPIRACIÓN HUMANA. Concepciones sobre la respiración exclusivas del ser humano.

CTG 21. El oxígeno es el agente vital del proceso respiratorio.

c25. La presencia de oxígeno en el cuerpo humano ayuda a hacer y a purificar la sangre. La respiración tiene la función de sacar productos de desecho.

Ideas previas

- 25.1 El oxígeno revive las células (Stavy *et al.*, 1987).
- 25.2 En el ser humano, el ritmo respiratorio cambia para dar mayor oxígeno al cuerpo para ayudar a hacer y a limpiar la sangre (Westbrook, 1992).
- 25.3 El oxígeno purifica la sangre (Flores *et al.*, 2000).
- 25.4 La respiración saca productos de desecho (Flores *et al.*, 2000).
- 25.5 En la respiración humana, el aire es empujado hacia dentro de los pulmones y luego fuera hacia la sangre (Rea y Clement, 1997).

IV.3.1 Análisis de las representaciones conceptuales de los estudiantes de bachillerato en torno a la fotosíntesis y la respiración

Al analizar las concepciones que presentan los estudiantes en torno a los conceptos involucrados, destacan las siguientes afirmaciones:

En el primer marco denominado Simplista (M11) se aprecia que los estudiantes reducen el proceso de respiración en los animales y en los vegetales a un intercambio de gases con el ambiente (CTG 18) (García, 1991, Cañal, 1999; Flores *et al.*, 2000). Para ellos, respiración en los animales significa introducir oxígeno y liberar dióxido de carbono. En los vegetales, respiración significa realizar la fotosíntesis (García, 1991; Amir y Tamir, 1990; Pashley, 1994; Bishop, 1996; Cañal, 1999; Flores *et al.*, 2000). En las concepciones que expresan los estudiantes no se aprecia como ocurren ambos procesos por lo que se le atribuye el carácter de simplista.

Es en el siguiente marco denominado de Complementariedad (M12) ya se observa una diferenciación entre los procesos de fotosíntesis y respiración. Los alumnos señalan que ambos procesos son complementarios en el sentido de que las mismas reacciones ocurren en ambos procesos pero en direcciones opuestas (CTG 19) (Barrass, 1984; Amir y Tamir, 1990; Lazarowitz y Penso, 1992; Pashley, 1994; Cañal, 1999; Flores *et al.*, 2000). También se señalan los componentes que participan en la fotosíntesis (Amir y Tamir, 1990; Anderson y Sheldon, 1990; Pashley, 1994; Bishop, 1996; Barak y Gorodetsky, 1999; Flores *et al.*, 2000), los productos que se obtienen (Wandersee, 1983; Amir y Tamir, 1990; Lazarowitz y Penso, 1992; Barak y Gorodetsky, 1999) y el lugar en la planta en el que se realiza la fotosíntesis (Wandersee, 1983; Flores *et al.*, 2000).

Se considera al último marco (Respiración Humana, M13) que bien podría ser una categoría del marco Simplista (M11) por las concepciones que indican que el ser humano durante la respiración, introduce oxígeno. Sin embargo se colocó aparte debido a que todas las concepciones de este marco se refieren únicamente al ser humano. Se observa que el agente para el proceso de respiración es el oxígeno, al que los estudiantes le atribuyen diversas funciones (CTG 21) como las de revivir a las células (Stavy *et al.*, 1987), ayudar a hacer y a purificar la sangre (Westbrook, 1992; Rea y Clement, 1997; Flores *et al.*, 2000). Y a la respiración le atribuyen la función de sacar productos de desecho Flores *et al.*, 2000. Por lo tanto el oxígeno desempeña un papel vital, por lo que

su ausencia en el organismo produciría la muerte debido a la falta de limpieza en la sangre o a la muerte celular. Esto sugiere que para los alumnos el proceso de respiración provee al cuerpo de muchos beneficios, de ahí su importancia vital en el organismo.

En la Figura IV. 4 se presenta un esquema que permite visualizar de manera integral la categorización de las ideas previas para el subtema de Fotosíntesis y Respiración. En él se muestran los 4 niveles de clasificación: marcos, categorías, concepciones e ideas previas.

Para finalizar este capítulo, se podría resumir el pensamiento de los alumnos en torno a la célula de la siguiente manera:

La célula es la unidad mínima que forma y da origen a los seres vivos. En cuanto a su tamaño existen fuertes confusiones entre las dimensiones celulares y las moleculares.

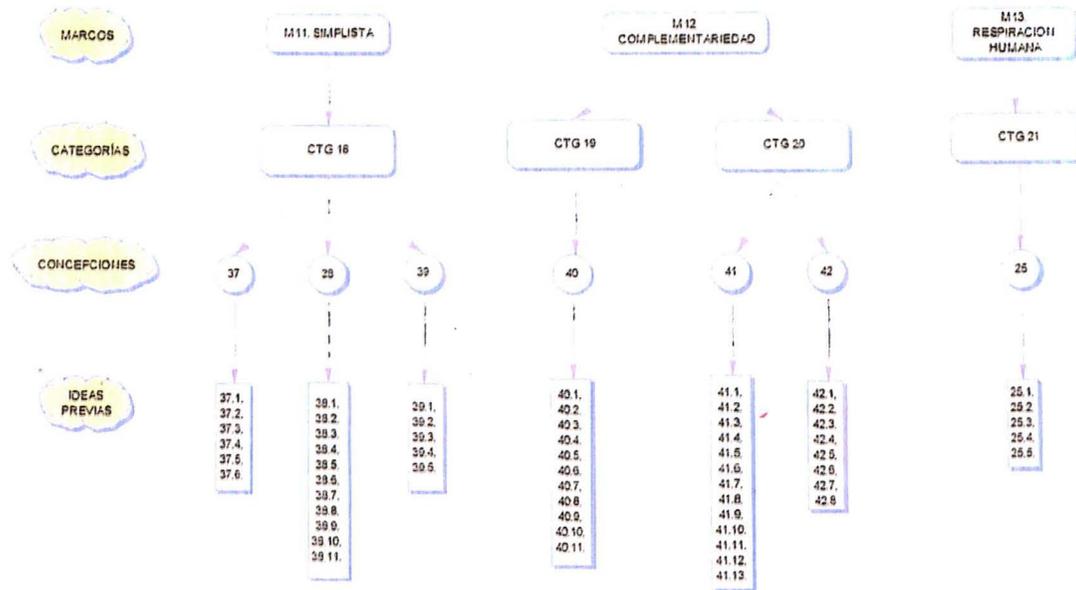
Para hablar de las funciones que realizan las células, debe tomarse en cuenta que dichas funciones están determinadas por: a) por su forma, b) por la morfología y fisiología del organismo multicelular al que pertenecen las células o, c) por las condiciones ambientales a las que está expuesto el organismo multicelular. De ahí que para los estudiantes exista una enorme diversidad celular.

Pero también los alumnos piensan que las características que tienen las células influyen directamente en las características del organismo multicelular, por ejemplo: "las paredes celulares son de color verde" (Treagust y Haslam, 1986). También es interesante notar que los alumnos del bachillerato atribuyen ciertas cualidades humanas a las células, por ejemplo: "la membrana es selectiva en el sentido de que reconoce los materiales que deben entrar a la célula y rechaza los otros destruyéndolos" (Dreyfus y Jungwirth, 1988). Además se hace hincapié en la utilización del lenguaje con tintes antropomórficos, por ejemplo: "las células tienen sistemas digestivos pequeños".

Otro conjunto de ideas sobre la forma y el tamaño celular son las que señalan que estos no cambian aunque la célula experimente procesos fisiológicos como la reproducción celular, o estructurales como el crecimiento del organismo.

Por otra parte, las ideas sobre la osmosis revelan que los alumnos del bachillerato tienen conocimientos superficiales sobre dicho proceso, además de una fuerte confusión entre los términos químicos que se emplean para explicarla. Lo mismo ocurre en los subtemas de fotosíntesis y respiración, los cuales son conocidos por los estudiantes de manera muy superficial, lo que puede propiciar confusiones en el momento de estudiar otros conceptos que involucren conocimientos químicos o biológicos.

FIG. IV.4 Clasificación de las ideas previas de los estudiantes de bachillerato en torno a la fotosíntesis y respiración.



Capítulo 5. Análisis de los Programas de Estudio de las asignaturas de Biología en el Colegio de Ciencias y Humanidades

Un aspecto importante que se requiere tomar en cuenta para el análisis de la enseñanza de la célula, es la revisión de los programas de estudio de la asignatura de Biología impartida en el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH, UNAM).

A lo largo de este capítulo se encontrará información textual en torno a ellos, información que fue consultada en los Programas de Estudio para las Asignaturas de Biología I y II (1996 Julio), Programa para alumnos del Plan de Estudios Actualizado (2000 Octubre), Programas de Estudio (2003 Abril) y el Programa Operativo de Biología I Unidad I (ambos obtenidos de: <http://www.cch.mx/sacademica/cienciassex/biologia1/frame2/unif>).

V.1 Concepción de la asignatura de Biología

Los cursos de Biología impartidos en el bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades tienen como finalidad "contribuir a la formación del estudiante a través de la adquisición de los conocimientos propios de la disciplina"..."introduciéndolo y capacitándolo en las formas de trabajo relacionadas con la investigación y su metodología".

Estos cursos pretenden propiciar el desarrollo de habilidades intelectuales como son la observación, el análisis, la clasificación, la abstracción, la síntesis, la creatividad, la comunicación oral y escrita (Marco Conceptual para los Programas de Estudio del Área de Ciencias Experimentales, 1995 Junio). Se espera que "la formación científica propuesta durante estos cursos, incida en la adquisición de valores y actitudes que, junto con los conocimientos y metodología aprendidos, propicien en el alumno, un desempeño responsable y crítico, relacionado con la sociedad y el ambiente" (Programas de estudio, 1996 Julio). Por su parte el bachiller a su egreso:

- Posee conocimientos básicos de la disciplina, su metodología y sus aplicaciones para comprender la naturaleza y el papel que desempeña como ser vivo.
- Aplica los conocimientos y la metodología científica en la resolución de problemas.
- Concibe a la biología como una ciencia en constante evolución que responde a un contexto histórico-social determinado.

- Valora la importancia de la biología en el desarrollo científico, tecnológico, económico y social del país.
- Posee habilidades intelectuales que le permiten tener un pensamiento flexible, creativo y crítico.
- Hace uso adecuado de la terminología que le permite entender la literatura científica, para desarrollar una mayor capacidad de comprensión oral y escrita.
- Ha desarrollado las actitudes y valores inherentes a una ética de respeto y responsabilidad hacia la naturaleza y de compromiso con la sociedad en que vive (Programas de estudio, 1996 Julio).

V.2 Sugerencias de Evaluación

En el Programa de estudios (1996) se lee lo siguiente:

"En general se parte de la premisa de que evaluar el aprendizaje significa conocer la relación entre las finalidades educativas, las actividades desarrolladas y los resultados del aprendizaje...Se considera que la evaluación no debe confundirse con los mecanismos de calificación ni con los criterios para la acreditación". Por lo que, continúa, "la calificación final se emitirá con base en una evaluación continua, que contempla tres modalidades: diagnóstica, formativa y sumativa" (Programas de estudio, 2003 Abril).

A continuación se describen las tres modalidades de evaluación:

- ❖ "La evaluación diagnóstica sirve para detectar los conocimientos previos de los alumnos. Debe aplicarse al comenzar el curso y al inicio de cada contenido, de manera que se disponga de información útil para decidir el nivel de profundidad con el que se abordarán los temas a enseñar y se le da libertad al profesor de optar por las estrategias didácticas más adecuadas para la superación de las dificultades de aprendizaje de los alumnos" (Programas de estudio, 2003 Abril).
- ❖ "Se recurrirá a la evaluación formativa con la finalidad de detectar los avances que el alumno va alcanzando respecto a los aprendizajes establecidos en cada unidad o temática y para evaluar la eficacia de las estrategias y recursos didácticos utilizados durante el desarrollo del proceso educativo" (Programas de estudio, 2003 Abril).
- ❖ "La evaluación sumativa permite valorar el nivel de dominio que los alumnos han alcanzado en relación con los aprendizajes establecidos y si éste es suficiente para continuar con otras temáticas. Se espera que esta evaluación se aplique al final de un

tema o de la unidad completa, para conformar a lo largo del curso la decisión sobre la calificación de cada uno de los alumnos” (Programas de estudio, 2003 Abril).

- ❖ Por todo lo anterior, se propone que la forma de evaluación sea construida por cada profesor, según las necesidades del grupo y de manera integrada con los aprendizajes que se pretenden lograr y las estrategias que se lleven a cabo. Asimismo se establece que la evaluación no sólo debe de ser de los principios y conceptos, sino del desarrollo de las habilidades y las actitudes que se pretenden lograr en el curso (Programas de estudio, 2003 Abril).

Finalmente, se lee lo siguiente:

“En términos generales, la evaluación debe contemplar:

- El manejo de la información y de los conceptos básicos de la asignatura y la aplicación de las habilidades intelectuales en las investigaciones propuestas.
- La fundamentación de las opiniones vertidas en forma oral y escrita
- Los cambios en las actitudes crítica, científica y responsable que se manifiesten durante el curso” (Programas de estudio, 1996 Julio).

Todo ello a través de:

- a) “El registro individual de actividades,
- b) Las investigaciones realizadas durante el curso,
- c) Realización de trabajos extraclase,
- d) Aplicación de la información recabada,
- e) Interpretación y valoración de la información” (Programas de estudio, 1996 Julio).

V.3 Programas de Estudio de la asignatura de Biología en el CCH

Un programa institucional es un instrumento que permite organizar los elementos que intervienen en el proceso de enseñanza-aprendizaje, de manera que orienten su planeación, ejecución y evaluación. Parte del éxito en la actividad docente reside en una buena planeación y ejecución de dichos programas. Estos constituyen una guía que orienta acerca de los contenidos que se deben enseñar así como de la metodología congruente para lograrlo. En el también se sugieren prácticas y materiales didácticos, incluyendo los bibliográficos, así como formas de evaluación. En este contexto, el papel de profesor consiste en especificar los contenidos, seleccionar la bibliografía y las actividades más adecuadas (<http://www.cch.unam.mx/plandeestudios.htm>).

La materia de Biología ubicada en el Programa para alumnos del Plan de Estudios Actualizado (2000 Octubre) del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), está integrada por cuatro cursos: Biología I, II, III y IV.

En los cursos de Biología I y II se propone la enseñanza de una biología integral que provea a los alumnos de las nociones y conceptos básicos, así como de las metodologías que le permitan entender y estudiar nuevos conocimientos de la disciplina. También se pretende que los contenidos proporcionen a los estudiantes elementos para incorporar a su cultura básica conocimientos científicos actuales, tomando en cuenta algunas de las explicaciones pasadas que los fundamentan, sus tendencias para el futuro y algunas relaciones con la tecnología. El enfoque integral de los cursos de Biología I y II se concreta a través del estudio de los aspectos que tienen en común los seres vivos y el análisis de su origen y diversidad, en donde se emplea como teoría integradora, la evolutiva, sin descuidar cuestiones de la biología actual, sus aplicaciones y tendencias (Programas de estudio, 1996 Julio).

A continuación se menciona el contenido educativo de los cursos de Biología impartidos en el Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM, que tienen relación con la visión integral de la célula.

V.4 Biología I

Se imparte en el tercer semestre del bachillerato. Es obligatoria. Tiene un valor de diez créditos en el historial del alumno. El contenido de este curso está diseñado para ser cubierto en ochenta horas, las cuales están distribuidas en cinco horas a la semana (Programas de estudio, 1996).

El curso se compone de dos unidades de estudio en las que se presentan las características de los seres vivos. En la primera unidad (ver tabla IV.1) se pretende responder a la pregunta ¿Qué tienen en común los seres vivos? centrándose en el estudio de la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos. Para ello, se presentan las generalidades de la célula: concepto, importancia y sus métodos de observación; así como su morfología, organelos celulares: estructura, composición química y función y se establecen las diferencias entre células animales y vegetales. Además se consideran las semejanzas y diferencias entre las células procariontes y eucariontes y se dan antecedentes históricos sobre la formulación de la teoría celular, de la cual se analiza su importancia y trascendencia en un contexto histórico y se menciona el significado de sus postulados.

El tiempo destinado para el estudio de estos contenidos es de aproximadamente 10 horas (Programas de estudio, 1996 Julio).

En la segunda unidad (ver tabla V.2) se estudian los procesos de: reproducción, conservación y regulación, que son comunes en los seres vivos.

Se revisan los procesos de reproducción de los seres vivos en diferentes niveles de organización; la reproducción celular por mitosis y meiosis, así como la importancia de la duplicación del ADN y el papel de los cromosomas y del núcleo en estos procesos. Posteriormente se estudia la reproducción en el nivel de organismos, los aspectos generales de la reproducción asexual y sexual y se trata la biología de la reproducción humana.

Se revisan los mecanismos de la herencia propuestos por Mendel. Así como la teoría cromosómica. Se repasan los factores que producen mutaciones.

Más adelante, se introduce al alumno al estudio de los procesos de conservación celular con los conceptos de fotosíntesis, carbohidratos, ATP y cloroplastos. Así como también los de respiración anaerobia, fermentación y respiración aerobia. Además de la importancia de las mitocondrias. También se revisa la conservación en el nivel de organismo, se habla del metabolismo: anabolismo y catabolismo y por último de los requerimientos de energía en el hombre. Finalmente se exponen los procesos de regulación en los seres vivos. Para ello se repasa la estructura y funcionamiento de la membrana celular. Así como del transporte de materiales al interior y exterior de la célula. En la regulación en el nivel de organismo se revisa el concepto de homeostasis. También se habla del reconocimiento celular, comunicación y receptores. Además del sistema nervioso, endócrino e inmune.

Los contenidos de la segunda unidad se estudian en 70 horas de clase aproximadamente (Programas de estudio, 1996 Julio).

De acuerdo con este Programa, los objetivos generales que se pretenden lograr al finalizar el curso son que el alumno:

- "Interprete los fenómenos biológicos con base en la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos.
- Analice los procesos de reproducción, conservación y regulación, en diferentes niveles de organización, así como los mecanismos de la herencia, lo que le permitirá adquirir una visión integrada del funcionamiento de los seres vivos.

- Desarrolle habilidades para la obtención y comprobación del conocimiento, al realizar la investigación documental y experimental, así como una actitud científica ante los conocimientos adquiridos y mejore la comunicación oral y escrita.
- Desarrolle actitudes y valores relativos a una relación armónica con la naturaleza al asumir que comparte aspectos con los demás seres vivos; así como también aquellos inherentes al trabajo en equipo" (Programas de estudio, 1996 Julio).

V.4.1 Evaluación Ordinaria y Extraordinaria

Se sugiere que para realizar el seguimiento y evaluación en diferentes momentos del aprendizaje de los contenidos de Biología I, se consideren los siguientes aspectos:

- ❖ La comprensión de los temas enseñados así como la destreza en el manejo del equipo de laboratorio.
- ❖ La habilidad al registrar, analizar e interpretar la información obtenida, la calidad y coherencia para comunicar los resultados de las actividades experimentales y de los trabajos escritos y orales.
- ❖ Los informes escritos, las exposiciones orales y el registro individual y por equipo.

Evaluación extraordinaria

Se establece que "el alumno que no acredite la evaluación mencionada anteriormente, tendrá que presentarse a una evaluación escrita" (Programas de estudio, 1996 Julio).

V.4.2 Análisis del programa de estudio de Biología I

En la tabla V.3 del Programa Operativo de Biología I Unidad I, se establece que en la primera clase, el profesor debe "presentar el programa de la asignatura y el enfoque del curso". En esta primera etapa, se evalúan los conocimientos previos de los estudiantes a través de un examen diagnóstico, a partir del cual el profesor decidirá los ajustes pertinentes al programa, de acuerdo a los requerimientos del grupo (<http://www.cch.mx/sacademica/cienciassex/biologia1/frame2/unif>).

La primera temática abordada corresponde al estudio de la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos (tablas V.1 y V.4). En esta parte se espera que los alumnos desarrollen las habilidades de observación, específicamente al usar el microscopio, análisis y síntesis, al consultar la bibliografía y al elaborar sus informes de las prácticas, así como también el desarrollo de una actitud científica (como consecuencia de realizar lo anterior). Por lo que se observa en el programa operativo (tabla 1.4),

aunque el objetivo de esta sección es que el estudiante "identifique a la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos", por lo que se aprecia en las actividades a desarrollar, el objetivo en realidad pareciera ser que el estudiante se familiarice con los tipos de microscopios, ya que se observa que tienen mayor peso los métodos de observación de la célula que la célula en sí misma. Como se pudo apreciar en la historia del descubrimiento de la célula (capítulo 3); efectivamente hubo un período en el cual se acumuló mucha información concerniente a la estructura celular, sin embargo, como sugiere Ledesma (2000), "no fue la observación de la célula ... ni la acumulación de información visual la que dio origen al concepto de célula", sino que fue 173 años después, "con los trabajos de Schleiden y Schwann, cuando se consolidaron todos los conocimientos sobre la célula y su papel en la constitución de los seres vivos, con lo que apareció dicho concepto". Tomando en cuenta esto, se afirma que el objetivo específico sólo se alcanza parcialmente: el alumno puede identificar a la célula como una unidad estructural pero esto no significa, que pueda lograr, en tan solo un curso de Biología, conceptualizar a la célula como la unidad funcional de los seres vivos, ya que hasta este momento del programa no se observan actividades encaminadas a que el alumno construya esta concepción. De hecho, en las investigaciones en torno a las concepciones de los estudiantes sobre el segundo postulado de la teoría celular, no se encontraron ideas previas. En la parte estructural hay investigaciones como las de Dreyfus y Jungwirth (1888) quienes encontraron que los alumnos consideraban que los seres vivos están constituidos por células. Caballer y Giménez (1992) constataron este hecho para el caso de los alumnos de secundaria y también encontraron que tenían fuertes contradicciones y dudas acerca de si los vegetales estaban constituidos por células. Además observaron que estudiantes mayores tampoco habían interiorizado significativamente el hecho de que los seres vivos están formados por células.

En otra investigación realizada por Díaz y Jiménez (1996), los estudiantes concebían el aspecto de las células dentro de un tejido, como un "panal de abejas" o como los "ladrillos de una pared" porque compartían la idea previa que dice: "la célula es un bloque de construcción". En este punto es interesante resaltar históricamente que Hooke también había apreciado en el tejido del corcho, un aspecto semejante al de un panal de abejas (Savín, 1995). Sin embargo hay que recordar que en aquel entonces se buscaba una "estructura elemental portadora de vida", idea que probablemente no se presente en los estudiantes de bachillerato. La célula aún no era concebida como la unidad estructural y funcional de los seres vivos.

Por lo tanto al analizar las dificultades que tienen los estudiantes para comprender el primer postulado de la teoría celular, se encuentra aún otra mayor que sostiene que los estudiantes al no tener interiorizados estos conceptos, más adelante no podrán comprender que "el funcionamiento de los organismos multicelulares -se puede comprender únicamente como- el resultado del funcionamiento celular coordinado" (Caballer y Giménez, 1992).

Como puede observarse, lograr identificar a la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos no es un objetivo que pueda lograrse en una sola unidad del curso de biología, sino que implica hacer un esfuerzo por atender a las ideas previas que tienen los estudiantes y en la medida de lo posible aplicar algunas estrategias encaminadas hacia el cambio conceptual.

Por otra parte, en la tabla V.5 del Programa Operativo de Biología I Unidad I, se observa el estudio de la célula desde el aspecto morfológico. Las actividades están encaminadas a que el alumno conozca los principales organelos celulares, su estructura, composición química y función. Además de que diferencie las células vegetales de las animales. De acuerdo con el Programa, los métodos a través de los cuales se pretende lograr su estudio son: consultas bibliográficas, prácticas de laboratorio, participación en un sociodrama y la elaboración de un cuadro para resaltar las semejanzas y diferencias entre ambos tipos de células. Con todo esto se pretende que el estudiante logre distinguir entre células animales y vegetales y que conozca los organelos de cada tipo celular. Su desempeño será evaluado a través de un examen parcial.

Con los resultados de investigaciones referentes a las concepciones de los estudiantes, se ha visto que muchas veces los profesores mantienen ideas previas que transmiten a sus alumnos durante la impartición de su clase. Por ello algunos autores proponen que el profesor emplee correctamente el lenguaje científico, con el propósito de evitar atribuir a las células funciones específicas del ser humano. De esto hay bastantes ejemplos reportados en la literatura que señalan que los estudiantes con frecuencia atribuyen a la célula funciones de organismos macroscópicos como las de "sentir dolor o frío" (Caballer y Giménez, 1992) o en el caso del núcleo al que le atribuyen la función de "supervisar las funciones de la célula de la misma forma que el cerebro supervisa las funciones del cuerpo" (Dreyfus y Jungwirth, 1988). También a estructuras como la membrana le atribuyen funciones cognitivas al reconocer que esta "sabe que debe dejar entrar a la célula" y de allí que sea selectiva (Dreyfus y Jungwirth, 1988).

Con respecto a la forma celular existen ideas previas que señalan que, para los alumnos, existen tantas formas celulares como formas de organismos macroscópicos se encuentren en la naturaleza (Flores *et.al.*, 2000). O bien existe la idea generalizada de que la célula es redonda (Flores *et.al.*, 2000). Durfort (1998) afirma que esto tal vez se deba a que "un círculo fue el primer dibujo que realizó el maestro al describirles la célula. Dibujo que se repitió en los diferentes grados de enseñanza". Y continúa diciendo que "un círculo está asociado con un prototipo de célula animal, y además un círculo se asocia habitualmente con la forma de un eritrocito de la sangre de mamífero, siendo justamente éste un modelo de célula que no se debe de tomar, ya que durante su formación (eritropoyesis) ha perdido gran parte de sus organelos e incluso pierde el núcleo". Ante esto, como sugiere la misma autora, "el pluralismo de formas han de ser considerados indicando ejemplos pertinentes". Para ello "es importante insistir en que no hay ninguna forma que sea indicativa de un prototipo celular ni en un mismo tejido ni en el organismo entero" (Durfort, 1998). Es por eso que, tomando en cuenta lo anterior, se sugiere no sólo que el profesor elija adecuadamente su material de enseñanza y los ejemplos que utilizará, sino también que el profesor conozca las ideas previas que tienen sus estudiantes y que a partir de esto tome acciones para lograr que los estudiantes comprendan que no todas las células son redondas y que nunca tienen sensaciones como las del ser humano.

Por otra parte se manifiesta que el conocimiento de las ideas previas de los estudiantes sirve para orientar la ejecución del profesor evitando caer en errores que puedan servir para propiciar o reforzar las ideas previas.

En la tabla V.6 del programa operativo de Biología I se abordan las semejanzas y diferencias entre células procariontes y eucariontes, también el estudio de la teoría celular en un contexto histórico y se explica el significado de sus postulados. Según el Programa, para abordar estos contenidos, se requiere que el estudiante lea, analice y sintetice los artículos de Margulis y Sagan (1985) y el de Duschesneu (1992). Se espera que el alumno identifique los aspectos metodológicos presentes en investigaciones que contribuyeron a la formulación de la teoría celular. En el programa se estima que todo lo anterior se realice en un tiempo de dos horas, el cual se considera insuficiente para lograr el objetivo planteado; por lo que se manifiesta que el alumno aprenderá a diferenciar a las células procariontes de las eucariontes a través del estudio concienzudo de las características que poseen cada una de ellas, hecho que se realiza en más de dos horas

de estudio. Por lo tanto no es adecuado que se trate este tema de manera tan superficial, y que se reduzca a un cuadro comparativo de semejanzas y diferencias. Sobretodo considero que el hecho de aprender a diferenciar entre ambos tipos celulares no consiste solamente en hacer una lista de semejanzas y diferencias, sino en razonar con los alumnos a qué se deben y en qué repercuten estas diferencias en los organismos que poseen uno u otro tipo de células. Sugiero echar mano de más apoyos didácticos para la enseñanza del tema (esquemas, diapositivas y otros artículos), así como de otras estrategias, que propicien en el alumno la reflexión sobre las diferencias entre procariontes y eucariontes.

Paralelo a esto considero importante señalar que las células procariontes se estudien de manera independiente de los eucariontes. Y que al hacer un análisis comparativo, se evite caer en el error de señalar ambos tipos celulares en un mismo dibujo. En este sentido sería de gran utilidad elaborar mapas conceptuales para señalar las relaciones entre los principales conceptos y propiciar de esta manera, la integración de los conceptos estudiados en la primera unidad del programa de Biología I.

Por todo lo anterior, si se pudiera ubicar al curso de Biología I en un contexto histórico, se diría que se encuentran resumidos en él los tres "periodos de desarrollo de la teoría celular", que se dieron en 173 años. Aunque esto no justifica el hecho de que los alumnos no den respuestas correctas a la hora del examen, si se pronuncia a favor de la siguiente reflexión: lograr concebir a la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos requirió dar muchos pasos pequeños con la acumulación de observaciones microscópicas por un lado, con el marco conceptual sembrado por Lorenz Oken y por otro con los importantes descubrimientos de Brown (núcleo) y de muchos otros, así como la interpretación y generalización de estas observaciones por Schleiden y Schwann. Por lo que enfatizo que no por el hecho de que el alumno tenga información sobre la célula significa que podrá comprender íntegramente los postulados de la teoría celular, pues como ya se explicó históricamente tuvieron que pasar 173 años después de la acumulación de observaciones microscópicas para lograr concebir a la célula y su papel en la constitución de los seres vivos. Debido a que el tiempo destinado para su estudio en el bachillerato se limita a 16 horas, es necesario que el alumno emplee más horas para su estudio extraclase. Sobre el papel del profesor, se recomienda que éste conozca no sólo las ideas previas que tienen sus alumnos con respecto a la célula sino las estrategias didácticas destinadas a lograr el cambio conceptual, las cuales podría aplicar en su clase.

Tabla V.1 Programa de Estudio para la asignatura de BIOLOGÍA I

PRIMERA UNIDAD

¿QUÉ TIENEN EN COMÚN TODOS LOS SERES VIVOS?

HORAS	TEMÁTICA	OBJETIVOS	SUGERENCIAS DIDÁCTICAS	BIBLIOGRAFÍA
10	<p>1. La célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos.</p> <p>1.1 Formulación de la teoría celular y sus aportaciones.</p> <p>1.2 Estructura celular: Diferencia entre procariontes y eucariontes.</p>	<p>PARTICULARES. Al finalizar la unidad, el alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Explicará la teoría celular como una de las grandes generalizaciones de la biología. - Desarrollará las habilidades de observación, análisis y síntesis, así como una actitud científica. - Identificará los aspectos metodológicos presentes en investigaciones que contribuyeron a la formulación de la teoría celular. <p>ESPECÍFICOS. El alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analizará la teoría celular en cuanto a su importancia y trascendencia en relación al contexto histórico social en el que surge. - Identificará a la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos. - Conocerá los principales organelos celulares. - Diferenciará las células procariontes de las eucariontes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión bibliográfica (textos, artículos y libros) que permitan al alumno manejar los conceptos y comprender la teoría celular, así como conocer las formas metodológicas, técnicas e instrumentales en que se basaron las trayectorias de investigación para formularla. - Realización de actividades experimentales tales como: uso y manejo del microscopio y observación de diferentes tipos de células. - Otras actividades como: la proyección de películas y audiovisuales; la elaboración de modelos; la asistencia a conferencias y su posterior análisis y visitas a museos y centros de investigación. 	<p>Para alumnos A, B, C, D, E</p> <p>Para profesores 3, 4, 5, 6, 7, 12, 14.</p>

Tabla V.2 Programa de Estudio para la asignatura de BIOLOGÍA I

SEGUNDA UNIDAD ¿QUÉ PROCESOS SON COMUNES EN LOS SERES VIVOS?

HORAS	TEMÁTICA	OBJETIVOS EDUCATIVOS	SUGERENCIAS DIDÁCTICAS	BIBLIOGRAFÍA
15	<p>1. Los procesos de reproducción de los seres vivos en diferentes niveles de organización.</p> <p>1.1 Reproducción celular por mitosis y meiosis. - Importancia de la replicación del ADN. - Papel de los cromosomas y del núcleo.</p> <p>1.2 Reproducción en el nivel de organismos: - Aspectos generales de la reproducción asexual y sexual. - Biología de la reproducción humana.</p>	<p>PARTICULARES.</p> <p>Al finalizar la unidad, el alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distinguirá los procesos de conservación, reproducción y regulación en diferentes niveles de organización. - Explicará los principios básicos de estos procesos, no como un conjunto de reacciones y fenómenos aislados, sino como la interacción de eventos de un proceso continuo. - Explicará los mecanismos de la herencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Discusión de lectura (textos, artículos y libros) que permitan a los alumnos comprender los conceptos, las teorías y los procesos de conservación, reproducción y regulación de los seres vivos. - Análisis de las estrategias y procedimientos empleados por los investigadores para conocer dichos procesos, por ejemplo, los trabajos de Mendel en la perspectiva de la hipótesis y los resultados obtenidos. 	<p>Para alumnos: A, B, C, D, E, F, G.</p> <p>Para profesores: 1, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 20, 22, 23.</p>
10	<p>2. Los mecanismos de la herencia.</p> <p>2.1 Los trabajos de Mendel. 2.2 Teoría cromosómica de la herencia. 2.3 Mecanismos que producen cambios genéticos: mutación, recombinación, otros.</p>	<p>Desarrollará las habilidades de observación, análisis, abstracción, síntesis, creatividad, así como la comunicación oral y escrita, a través de los trabajos de experimentación e investigación.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diseñará y realizará investigaciones experimentales guiadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño y realización de investigaciones de laboratorio sobre algunos aspectos de la conservación, la reproducción y la regulación de los seres vivos, como hipótesis y experimentaciones sobre el efecto de la longitud de onda o cantidad de agua en la acumulación de almidón. 	
25	<p>3. Los procesos de conservación en los seres vivos.</p> <p>3.1 Conservación en el nivel celular: - Síntesis de proteínas. Importancia de los ácidos nucleicos y los ribosomas. - Fotosíntesis. Importancia de los carbohidratos, ATP y cloroplastos. - Respiración anaerobia-fermentación. - Respiración aerobia. Importancia de las mitocondrias.</p> <p>3.2 Conservación en el nivel de organismo: - Metabolismo: anabolismo-catabolismo.</p>	<p>ESPECÍFICOS.</p> <p>El alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprenderá que dentro de las funciones principales de los seres vivos están aquellas que les permiten conservar y asegurar su propia existencia. - Analizará que los seres vivos son capaces de atender su propio mantenimiento, de construir nuevas células y organismos mediante procesos específicos de reproducción. - Inferirá que los seres vivos requieren regular la constancia de su funcionamiento para asegurar su supervivencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Actividades, como la resolución de problemas, el desarrollo de juegos, la proyección de películas y audiovisuales, la elaboración de modelos, la asistencia a conferencias, y su posterior análisis, que ilustren los mecanismos de la herencia. - Asistencia a conferencias, el conocimiento de programas de salud y de sexualidad y su posterior análisis. 	
20	<p>4. Los procesos de regulación en los seres vivos</p> <p>4.1 Regulación celular: - Transporte de materiales al interior y exterior de la célula. - Estructura y función de la membrana. Importancia de los lípidos y proteínas en este proceso.</p> <p>4.2 Regulación en el nivel de organismos (Homeostasis). Reconocimiento celular. Comunicación y receptores. Sistema nervioso, endócrino e inmune.</p>	<p>Establecerá la importancia de los trabajos de genética mendeliana en la explicación del mecanismo hereditario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Efecto de la concentración del medio en los fenómenos de regulación celular. - Realización de actividades con relación a la biología de la reproducción humana como: conocimiento del aparato reproductor masculino y femenino, embarazo; métodos anticonceptivos y control de la natalidad; enfermedades de transmisión sexual. - Realización de actividades en relación a la regulación hormonal humana. 	

BIBLIOGRAFÍA PARA ALUMNOS Y PROFESORES DEL CURSO DE BIOLOGÍA I

PARA ALUMNOS

Bibliografía básica:

- A. Alexander, P., et al., *Biología*, New Jersey, Prentice Hall, 1992.
- B. Curtis, H., *Biología*, México, Panamericana, 1985.
- C. Fried, G. H., *Biología*, México, McGraw-Hill, 1990.
- D. Kimball, J. W., *Biología*, México, Addison-Wesley Iberoamericana, 1986.
- E. Ville, A. C, et al., *Biología*, México, Interamericana, McGraw-Hill, 1992.
- F. Nelson, E. G., *Principios de biología. Enfoque humano*, México, Limusa, 1988.

Bibliografía complementaria:

- G. Karp, G., *Biología celular*, México, McGraw-Hill, 1988.
- H. Ondarza, R., *Biología moderna*, México, Trillas, 1992.
- I. Overmire, T.G., *Biología*, México, Trillas, 1992.

Queda a criterio del profesor la utilización por el alumno de la bibliografía que se enlistó a continuación.

PARA PROFESORES

Bibliografía básica:

1. Ayala, F., y Kiger, J. A. Jr., *Genética moderna*, México, Fondo Educativo Interamericano, 1984.
2. De Kruijff, P., *Los cazadores de microbios*, México, Época, 1974.
3. Duchesneau, F., "Cómo nació la teoría celular", en *Mundo Científico*, núm. 120, vol. 12, Barcelona Fontalba.
4. Felsenfeld, G., "ADN", en *Investigación y Ciencias*, Barcelona, Prensa Científica, diciembre, 1985.
5. Wallace, R.A., King, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 1. Biología molecular y herencia*, México, Trillas, 1991.
6. Wallace, R.A., King, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 2. Evolución y microorganismos*, México, Trillas, 1991.
7. Wallace, R.A., King, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 3. Plantas y animales*, México, Trillas, 1991.
8. Wallace, R.A., King, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 4. Conducta y ecología*, México, Trillas, 1991.

Bibliografía complementaria:

9. Allen, G. E., "Thomas H. Morgan y el nacimiento de la genética moderna", en *Mundo Científico*, núm. 49, Vol. 5. Barcelona, Fontalba.
10. Baker, J. y Allen, G., *Biología e investigación científica*, México, Fondo Educativo Interamericano, 1972.
11. Blanc, M., "Gregor Mendel: La leyenda del genio desconocido", en *Mundo Científico*, núm. 120, marzo, 1984. Barcelona, Fontalba.
12. Brtscher, M.S., "Moléculas de la membrana celular", *Investigación y Ciencia*, Barcelona, Prensa Científica, diciembre de 1985.
13. CNEB, *Biología, Interacción de experimentos e ideas*, México, Limusa, 1974.
14. Darnell, J., "ARN", en *Investigación y Ciencia*, Barcelona, Prensa Científica, diciembre, 1985.
15. Dreyfus, G., "Respiración intracelular", en *Información Científica y Tecnológica*, México, CONACYT, julio-agosto, 1990.
16. Nelson, G.E., *Principios de biología. Enfoque humano*, México, Limusa, 1988.
17. Oram, R., Hummer, P., y Smoot, R., *Biología. Sistemas vivientes*, México, CECSA, 1983.
18. Otto, J.H. y Towler, A., *Biología moderna*, México, McGraw-Hill, 1990.
19. *Scientific American*, "Vida en el Universo," en *Investigación y Ciencia*, Barcelona, Prensa Científica, diciembre, 1994.
20. Serre, J.L., "La génesis de la obra de Mendel", en *Mundo Científico*, núm. 41, vol. 4. Barcelona, Fontalba.
21. Sherman, I.W. y Sherman, V.G., *Biología, perspectiva humana*, México, McGraw-Hill, 1987.
22. Smith-Keary, P. F., *Genética: estructura y función*, México, Cultural, 1979.
23. *Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas, Comunicación neuroendócrina, bases celulares y moleculares*, México, CONACYT, 1993.

V.4.3 Programa Operativo de la asignatura de Biología I

De acuerdo con la comisión de Síntesis del Área de Ciencias Experimentales del Colegio de Ciencias y Humanidades (1996), el programa operativo para la asignatura de Biología I surge a partir del programa indicativo, como una necesidad de contar con una guía detallada que oriente al profesor en las actividades a realizar durante el curso.

Dicho programa está compuesto por dos unidades: La primera denominada ¿Qué tienen en común los seres vivos? Y la segunda ¿Qué procesos son comunes en los seres vivos? A continuación se presenta el Programa Operativo de Biología I

Tabla V.3 Programa Operativo de Biología I Unidad I. Primera parte.

UNIDAD I ¿QUÉ TIENEN EN COMÚN TODOS LOS SERES VIVOS?

Tiempo aproximado: 2 horas

OBJETIVOS PARTICULARES: El profesor detectará los conocimientos y habilidades de los integrantes del grupo, elaborará el perfil socioeconómico y cultural de los mismos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	TEMÁTICA	CONTENIDOS TEMÁTICOS	MÉTODOS	EVALUACIÓN
Establecer la relación entre los alumnos y el profesor, mediante la presentación del programa y sus elementos. Obtención del perfil del ingresado.	Presentación del programa de la asignatura y el enfoque del curso.	Características del curso, relaciones horizontales y verticales de la Asignatura y el Plan de estudios. Formas de trabajo e indicadores para la realización de las actividades propuestas. Actividades intra y extra clase. Momentos y formas de evaluación para efectos de acreditación.	Dinámica de presentación. Cuestionario de datos generales (perfil del estudiante). Exposición oral y escrita. Examen diagnóstico.	Cuestionario de datos generales. Examen diagnóstico (de conocimientos)

ESTRATEGIAS

El Profesor	El Alumno
<ol style="list-style-type: none"> 1. Se presentará ante el grupo. 2. Aplicará un cuestionario sobre datos generales para obtener el perfil del ingresado. 3. Expondrá los compromisos de los alumnos (enquadre). 4. Aplicará el examen diagnóstico (de conocimientos) 5. Evaluará el examen diagnóstico y decidirá los ajustes al programa de acuerdo a los requerimientos del grupo. 6. Entregará el programa del curso a los alumnos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se presentará ante el grupo. 2. Resolverá el cuestionario de datos generales (por escrito). 3. Participará de manera activa en la exposición y encuadre del curso. 4. Resolverá el examen diagnóstico. 5. Conocerá los resultados del examen diagnóstico. 6. Comentará el programa con la participación del profesor.

Tabla V.4 Programa Operativo de Biología I Unidad I. Segunda parte.

Tiempo aproximado: 2 horas

OBJETIVOS PARTICULARES: El alumno desarrollará las habilidades de observación, análisis y síntesis, así como una actitud científica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	TEMÁTICA	CONTENIDOS TEMÁTICOS	MÉTODOS	EVALUACIÓN
Identificará a la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos.	1. La célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos.	Generalidades de la célula. Concepto de célula, su importancia y sus métodos de observación.	Consulta bibliográfica (trabajo individual). Resolución de la guía (trabajo individual). Trabajo en equipo de 4 o 5 participantes. Discusión grupal (mesa redonda sobre el ensayo). Trabajo en equipo (demostración teórico-práctica). Prácticas de laboratorio (uso, manejo y enfoque del microscopio, aplicación de técnicas para la elaboración de preparaciones temporales). Consulta bibliográfica, trabajo en equipo para elaboración de informes.	1. Revisión de cuadernos. 2. Guía resuelta 3. Observación participante. 4. Observación participante. 5. Observación participante. 6. Informe de prácticas.
ESTRATEGIAS				
El Profesor			El Alumno	
1. Seleccionará la bibliografía para ser consultada por los alumnos y registrará la información obtenida en su cuaderno. 2. Establecerá parámetros para revisión del cuaderno. 3. Entregará una guía de lectura sobre los aspectos a tratar en clase, para que los alumnos la contesten y posteriormente comparen las respuestas en equipo. 4. Entregará el ensayo "Tipos de Microscopio. Uso y Manejo" (de las Prof. Yolanda Sotelo y Rosa María Ordóñez). 5. Seleccionará al azar 3 equipos para la dinámica elegida. 6. Aplicará la práctica ya mencionada y elaborará preparaciones temporales. 7. Aplicará una guía para la elaboración del			1. Analizará y sintetizará por escrito la información consultada (cuaderno). 2. Resolverá la guía (de forma individual). 3. Contratará las respuestas de la guía en equipo. 4. Analizará el ensayo propuesto. 5. Elegirá por equipo un tipo de microscopio para realizar una demostración teórico - práctica. 6. Realizará las prácticas señaladas. 7. Elaborará los informes correspondientes a cada práctica por escrito.	

informe escrito de las prácticas.

Tabla V.5 Programa Operativo de Biología I Unidad I. Tercera parte.

Tiempo aproximado: 5 horas y 5 horas extra clase

OBJETIVOS PARTICULARES: El alumno desarrollará las habilidades de observación, análisis y síntesis, así como una actitud científica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	TEMÁTICA	CONTENIDOS TEMÁTICOS	MÉTODOS	EVALUACIÓN
Conocerá los principales organelos celulares.	1. La célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos.	Estructura morfológica de la célula. Organelos celulares, su estructura, composición química y función. Diferencias y semejanzas entre células vegetales y animales.	1. Consulta bibliográfica (trabajo individual) 2. Sociodrama, debate o exposición por equipo y grupal 3. Práctica de laboratorio para hacer observaciones. 4. Discusión grupal para la elaboración y resolución del cuadro. 5. Examen formativo (elaborar e imprimir)	1. Revisión del cuaderno 2. Observación participante 3. Informe escrito. 4. Observación participante y cuadro resuelto. 5. Examen parcial.

ESTRATEGIAS

El Profesor	El Alumno
<p>1. Indicará la bibliografía para ser consultada y registrada por los alumnos.</p> <p>2. Seleccionará y organizará la metodología a seguir para el proceso de enseñanza y aprendizaje del contenido temático, acorde a las características del grupo (sociodrama "La célula ", debate o exposición por equipo).</p> <p>3. Diseñará la práctica para observar células vegetales y animales.</p> <p>4. Solicitará a los alumnos la elaboración de un cuadro para resaltar semejanzas y diferencias entre células</p>	<p>1. Consultará, analizará y sintetizará por escrito la información indicada.</p> <p>2. Participará en la dinámica seleccionada (sociodrama).</p> <p>3. Realizará la práctica en el laboratorio y su correspondiente reporte.</p> <p>4. Al terminar la práctica elaborará, contestará y discutirá los resultados del cuadro solicitado.</p> <p>5. Resolverá el examen parcial.</p>

vegetales y animales.

5. Aplicará y calificará un examen parcial.

Tabla V.6 Programa Operativo de Biología I Unidad I. Cuarta parte.

Tiempo aproximado: 2 horas

OBJETIVOS PARTICULARES: El alumno explicará la teoría celular como una de las grandes generalizaciones de la Biología. Identificará los aspectos metodológicos presentes en investigaciones que contribuyeron a la formulación de la teoría celular.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	TEMÁTICA	CONTENIDOS TEMÁTICOS	MÉTODOS	EVALUACIÓN
Diferenciará las células procariontes de las eucariontes. Analizará la teoría celular, en cuanto a su importancia y trascendencia en relación al contexto histórico social en el que surge.	2.- Estructura celular: diferencia entre procariontes y eucariontes. 3. Formulación de la teoría celular y sus aportaciones.	Semejanzas, diferencias y ejemplos de células procariontes y células eucariontes. Antecedentes históricos sobre la formulación de la teoría celular. Contexto Histórico de científicos participantes, metodología de sus investigaciones y significado de los postulados de la teoría celular.	Fotocopiado del artículo y lectura analítica (trabajo individual). Trabajo en equipo (4 a 5 estudiantes). Mesa redonda (trabajo colectivo). Fotocopiado del material y lectura analítica (trabajo individual). Trabajo individual.	1. Revisión de la síntesis del artículo* 2. Sobre el número de aciertos en el cuadro resuelto* 3. Observación participante** 4. Revisión de la síntesis* 5. Observación** participante y uso de una escala estimativa**

ESTRATEGIAS

El Profesor	El Alumno
1. Entregará el artículo <i>El origen de la Células Eucariontes</i> .	1. Analizará y sintetizará por escrito el artículo de Margulis.
2. Diseña y entregará un cuadro comparativo sobre semejanzas y diferencias entre células eucariontes y procariontes.	2. Resolverá el cuadro comparativo (por equipo).
3. Organizará una mesa redonda para discutir las respuestas del cuadro.	3. Participará de manera activa en la mesa redonda (con la coordinación del profesor).
4. Entregará el artículo <i>Como nació la</i>	4. Analizará y sintetizará el artículo propuesto.
	5. Solucionará la guía (individualmente) y

Teoría Celular.

discutirá en equipo las respuestas con asesoría del profesor.

5. Elaborará una guía para una discusión dirigida resaltando los contenidos temáticos.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA DEL PROGRAMA OPERATIVO DE BIOLOGÍA I

- ALEXANDER, P. et al., *Biología*, New Jersey, Prentice Hall, 1992.
- AYALA, F., King, J.A. Jr., *Genética moderna*, México, Fondo Educativo Interamericano, 1984.
- CÁRABE, A. y Sandoval, F. *Bioenergética*. "Ultra estructura mitocondrial". ICyT, vol. 12 núm. 169. México, 1990.
- CURTIS, H. *Biología*. Ed. Panamericana. México, 1985.
- DE KRUIF, P. *Los cazadores de microbios*. Ed. Época, 1974.
- DUCHESNEAU, F. *Como nació la Teoría Celular*. Mundo Científico no. 120. Vol. 12. Barcelona
- FELSENFELD, G. *ADN, en investigación y ciencias*. Prensa Científica. Barcelona, 1985.
- GONZÁLEZ, H.D. y Vázquez, A.M., *Bioenergética*. "Mitocondrias sanas, mitocondrias enfermas". ICyT, vol. 12 núm. 169. México, 1990.
- KARP, G. *Biología Celular*. Ed. McGraw-Hill, 1988.
- KIMBAL, J.W., *Biología*. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. México, 1986.
- MARGULIS, L. *El origen de la célula*, Ed. Reverté. México, 1993.
- MIRO, E. *Evolución*. Ed. Alambra 570 p. México, 1981. NELSON, G.E *Conceptos fundamentales de Biología*. Ed. Limusa. México 1976.
- NELSON, G.E *Principios de Biología*. Ed. Limusa. México 1991.
- ORDANZA, R. *Biología moderna*. Ed. Trillas. México, 1992.
- OVERMIRE, T. *Biología*, Ed. Trillas. México, 1992.
- SÁEZ, F. A. *Citogenética básica y biología de los cromosomas*. Washington, D.C., 1978
- SANDOVAL, E.C. *Bioenergética*. "El motor de la vida". ICyT, vol. 12 núm. 169. México, 1990.
- VILLEE, C.A. *Biología*. Ed. Interamericana McGraw-Hill 2a Ed. México, 1992.
- WALLACE, R.A., king, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 1. Biología molecular y herencia*. Ed. Trillas. México, 1991.
- WALLACE, R.A., king, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 2. Biología molecular y herencia*. Ed. Trillas. México, 1991.
- WALLACE, R.A., king, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 3. Biología molecular y herencia*. Ed. Trillas. México, 1991.
- WALLACE, R.A., king, J.L. y Sanders, G.P., *La ciencia de la vida 4. Biología molecular y herencia*. Ed. Trillas. México, 1991.

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA DEL PROGRAMA OPERATIVO DE BIOLOGÍA I

- ALLEN, G.E. Thomas H. Morgan y el nacimiento de la genética moderna, en *Mundo científico*, vol. 5 núm. 49 Barcelona.
- BAKER, J. Y Allen, G. *Biología e investigación científica*. Fondo educativo interamericano. México, 1972.
- BLANC, M. Gregor Mendel : la leyenda del genio desconocido, en *Mundo científico* núm 120. Barcelona, 1984.
- BRITSCHER, M.S. *Las moléculas de la membrana celular*, Investigación y ciencia, Prensa científica. Barcelona, diciembre de 1985.
- CELIS, H.S. *Biogenética*. El motor de la vida. ICyT, vol. 12 núm. 169. México, 1990
- CNEB, *Biología, Interacción de experimentos e ideas*. Ed. limusa. México, 1974.
- DARNELL. J. ARN, en *Investigación y ciencia*, Prensa científica. Barcelona, diciembre de 1985.

- DREYFUS, G. Respiración intracelular, en información científica y tecnológica. CONACYT. México, jul-ago, 1990.
- FRIED, G.H. Biología de McGraw-Hill. México, 1990.
- GONZÁLEZ, H.D. y Vázquez, A.M., Bioenergética. Mitocondrias sanas, mitocondrias enfermas. ICyT, vol. 12 núm. 169. México, 1990.
- LACAS, J.C. Investigación y Ciencia Scientific American. México, 1995.
- LEÓN-CÁZARES, J.M. El origen de la vida y la evolución celular hoy 2, Facultad de Ciencias UNAM, núm. especial, Polémicas contemporáneas en Evolución, 1987.
- LENINGER, R. Biochemistry. Todo lo que Siempre Quiso Saber... Worth publishers, New York, 1973.
- LOMELI-BUYOLI H. En el principio fue el ARN, en información científica y tecnológica, CONACYT, vol. 12 núms. 166-167. México, jul-ago 1990.
- MARGULIS, L. y Sagan, D. El origen de las células eucariontes. Mundo Científico no. 46. Vol. 5 Barcelona, 1985.
- NELSON, G.E Conceptos fundamentales de Biología, guía para el estudiante. Ed. Limusa. México 1976.
- NELSON, G.E Conceptos fundamentales de Biología manual de laboratorio. Ed. Limusa. México 1976.
- NELSON, G.E Principios de Biología. Enfoque humano Ed. Limusa. México 1998.
- OCHOA, L.M. E. Estrategias de laboratorio para la enseñanza de las Ciencias Naturales, impreso por la U.N.A.M. México, 1994.
- ORAM, R. Hummer, P. y Smoot, R. Biología. Sistemas vivos, CECSA, México, 1983.
- SALINAS, L. H. Análisis y diseño de experimentos. Producto 1995- U.N.A.M.
- SERRE, J.L. La génesis de la obra de Mendel, en Mundo Científico, núm. 41, vol. 4. Barcelona.
- SHERMAN, I.W. Y Snerman, V.G. Biología, perspectiva humana. Ed. McGraw-Hill, México, 1987.
- SMITH-KEARY, P.F. Genética : estructura y función. Cultural. México, 1979.
- Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas, Comunicación neuroendócrina, bases celulares y moleculares, CONACYT, México, 1993.
- TIJAN, R. Mecanismo molecular del control génico. Investigación i Ciencia.. méxico 1995.
- TUENA, M. y Gómez A. Bioenergética. Retrospectiva de la Bioenergética. ICyT, vol. 12 núm. 169. México, 1990.
- VALVERDE, C. La endocrinología. Información Científica y tecnológica vol. 6 núm. 96. México, 1984.

Capítulo 6. Propuesta de una estrategia didáctica introductoria al tema de la célula para los estudiantes de bachillerato

La estrategia didáctica que se propone en el siguiente capítulo se apoya en las representaciones conceptuales (que fueron analizadas en el capítulo 3) de los estudiantes de 16 a 18 años de edad. La estrategia se compone de cuatro partes que corresponden a aquellos aspectos en los que se consideran que son básicos para poder construir una representación de la célula general.

El objetivo principal de la estrategia es proveer a los profesores de actividades enfocadas a la enseñanza de cuatro aspectos básicos en torno a la célula, de tal manera que los estudiantes sean introducidos de manera general al concepto de célula, enfocando el cambio conceptual.

Los aspectos propuestos para ser desarrollados en las actividades de enseñanza son los siguientes:

1. Tamaño y forma de la célula.
2. Antropomorfismo.
3. Moléculas/ Reacciones químicas.
4. Osmosis y difusión.

VI.1 Tamaño y forma de la célula

El primer aspecto que se pretende abordar es el relacionado con el tamaño y la forma de la célula. Uno de los hallazgos más sorprendentes en este trabajo fue descubrir que los estudiantes confunden las dimensiones celulares y moleculares (M2), hecho que se encuentra plasmado en las ideas que sostienen que “las células son más pequeñas que los genes” o incluso “más pequeñas que las moléculas de proteínas” (Dreyfus y Jungwirth, 1988; Lewis *et al.*, 2000), esto puede ser así porque probablemente no poseen suficientes elementos que los ayuden a construir las representaciones de los niveles microscópicos celular y subcelular.

Otro descubrimiento importante es que los estudiantes trasladan las características del nivel macroscópico (multicelular) al microscópico (celular). Piensan que la morfología y fisiología de las células son influidas directamente por la morfología y fisiología del organismo multicelular al que pertenecen y de las condiciones ambientales a las que está

expuesto (M4). Ejemplos concretos se encuentran en el conjunto de afirmaciones que sostienen que el aspecto, la forma, el crecimiento y el tamaño de la célula dependen del aspecto, forma, crecimiento y tamaño del organismo multicelular al que pertenece (CTG 6). Así que al hablar de la forma celular, el traslado de las características del nivel macroscópico hacia el microscópico se manifiesta en el hecho de que para los estudiantes existen tantas formas celulares como formas de órganos o de organismos multicelulares se encuentren en la naturaleza (c16) (Flores *et al.*, 2000).

Este traslado también es evidente en algunas otras concepciones en las que la forma y el tamaño de la célula se ven afectados por problemas que pudiera tener el organismo multicelular (CTG 7) como son: problemas de tipo genético (enfermedades), de tipo físico, químico (alimentación, agua, etc.) e incluso social y aún más allá, los estudiantes piensan que los factores ambientales también modifican la forma y el tamaño de la célula (Flores *et al.*, 2000).

Por otra parte y de manera muy particular, existe una concepción que afirma que la forma de la célula depende de la función que realice (c8). Este enunciado de tipo teleológico (M3) lleva implícita una idea que sugiere que existen tantas formas celulares como funciones desempeñen las células.

En otro sentido, también se encontraron ideas que manifestaron el hecho de que todas las células de los organismos de una especie tienen la misma forma y tamaño (CTG 14). En este contexto la forma y el tamaño celular no se modifican debido a que no se ven afectados por los cambios que se llevan a cabo en el organismo macroscópico, como son el desarrollo o la reproducción celular (Flores *et al.*, 2000). Esto sugiere que los estudiantes desconocen la diversidad celular y los cambios morfológicos que pueden tener las células incluso en un mismo tipo celular, por ejemplo las células del tejido conjuntivo.

Como puede observarse, las concepciones de los estudiantes de bachillerato en torno a la forma y el tamaño de la célula están apoyadas en ideas cuyo fundamento es distinto al científico, siendo esto un factor que conduce a la generación de otras ideas previas e impide la construcción de representaciones generales de la célula que sirvan posteriormente para profundizar otros aspectos de la misma.

VI.1.1 Actividades para la enseñanza del tamaño y la forma de la célula

Lo siguiente fue tomado del artículo de Durfort (1998) y son consideraciones prácticas que se sugiere tomar en cuenta para la enseñanza del tamaño y forma celular.

Recomendaciones acerca de lo que se debe evitar en la enseñanza de la forma celular:

- Nunca dibujar una célula redonda en el pizarrón. Un círculo está asociado con un prototipo de célula animal. Un círculo se asocia con la forma de un eritrocito de la sangre de mamífero, siendo este justamente un modelo de célula que no se debe tomar, ya que durante su formación (eritropoyesis) ha perdido gran parte de sus organelos citoplasmáticos e inclusive pierde el núcleo (Durfort, 1998).
- Nunca dar datos muy exactos de la forma y el tamaño celular y no se debe prescindir de la variabilidad morfológica o de las medidas y de la visión de conjunto.

Recomendaciones acerca de lo que se debe considerar en la enseñanza de la forma celular

- Tener presente que la morfología varía de un tipo celular a otro y en determinadas ocasiones el mismo modelo celular tiene una morfología u otra dependiendo de su edad y de su actividad (ejemplo el fibroblasto y el fibrocito o el osteoblasto y el osteocito).
- Es importante considerar la diversidad de formas indicando los ejemplos adecuados.
- Es importante insistir en que no hay ninguna forma que sea indicativa de un prototipo de célula ni en un mismo tejido ni en el organismo entero.
- Se recomienda a las células del tejido conjuntivo para considerar la diversidad morfológica y funcional de los componentes de un tejido que además permitirán hablar de la gran plasticidad que tienen los diversos tipos celulares.
- Tomar en cuenta que cuando las células se asocian para la formación de determinados tejidos, adoptan ciertas morfologías, por ejemplo las células de los epitelios que al estar interconectadas por complejos de unión su forma pasa a ser prismática con excepciones como la célula calciforme. Por destrucción de la matriz

extracelular y de los complejos de unión las células se disocian y, al quedar aisladas, adoptan una forma con los extremos ligeramente redondeados. Situación similar obtendríamos si se aíslan los hepatocitos que forman las trabéculas hepáticas y se cultivan en un medio apropiado. Estas consideraciones también son válidas para las células vegetales.

- Es necesario insistir en el hecho de que los procesos osmóticos afectan a nivel morfológico, mucho más a las células animales que a las vegetales, por el hecho de que les falta la pared celular.
- Por lo tanto es necesario tener presente la morfología de una célula en condiciones normales para poder apreciar sus posibles alteraciones y cambios que pueden tener origen diverso.

Recomendaciones acerca de lo que se debe considerar en la enseñanza del tamaño celular

- En caso de que algún tipo celular tenga muchas modalidades es necesario insistir en ello. Por ejemplo en las neuronas es necesario insistir en que hay muchas modalidades de ellas.
- También es necesario insistir en la variabilidad de cada célula dentro del mismo individuo o ejemplar. Por ejemplo entre los linfocitos hay unos normales de 7 micras de diámetro, los pequeños miden 5 y los grandes 10 micras. Todos estos valores se deben de tener presentes en el momento de realizar el estudio de un análisis de sangre.

Representaciones conceptuales del tamaño celular que se desean cambiar:

1. Las células son microscópicas: más pequeñas que las moléculas de las proteínas o más pequeñas que los genes (Dreyfus y Jungwirth, 1988; Flores *et al.*, 2000; Lewis *et al.*, 2000).
2. La forma, apariencia y tamaño de las células dependen de esas mismas características en el organismo macroscópico al que pertenecen y de las condiciones ambientales a las que está expuesto el organismo macroscópico (Dreyfus y Jungwirth, 1988; Díaz y Jiménez, 1996; Flores *et al.*, 2000).

Objetivo

- 1.1 Que los estudiantes puedan diferenciar algunos niveles de organización subcelulares, a través de la representación con maquetas o esquemas, de los diferentes tamaños que poseen las células, las proteínas y algunas estructuras constituidas por proteínas.
- 2.1 Revisar formas y tamaños de algunas células con el propósito de ilustrar la diversidad de ellas incluso en un mismo tipo celular, por ejemplo la diversidad del tejido conjuntivo.

Actividades

- 1.1 Elaboración de diversas moléculas y tipos celulares, con el propósito de comparar los tamaños y formas que pueden tener.
- 2.1 Elaborar un mismo tipo celular con sus diferentes formas y tamaños dependiendo de la edad y función de la célula en cuestión.

VI.2 Antropomorfismo

El segundo aspecto que se pretende analizar es el relacionado con el antropomorfismo. En las representaciones conceptuales de los estudiantes (capítulo 3) se observó la tendencia a atribuir a las células o a algunas de sus estructuras, características análogas a las del ser humano (M6; CTG 12). Por ejemplo a la membrana y al núcleo celular les atribuyen cualidades inteligentes. Los alumnos afirman que la membrana es selectiva porque reconoce y deja pasar los materiales que son necesarios para la célula (c26) y al núcleo le atribuyen funciones análogas a las del cerebro como son las de controlar, regular y supervisar las funciones celulares (c27) (Dreyfus y Jungwirth, 1988, 1989; Flores *et al.*, 2000). Además se observa que los alumnos emplean el lenguaje con tintes antropomórficos, como en la afirmación de que las células tienen "sistemas digestivos pequeños" (Dreyfus y Jungwirth, 1988) o en el caso del cuerpo de Golgi al que denominan "aparato de Golgi", probablemente porque así lo han leído o lo han escuchado de sus profesores.

Por otra parte existen otras concepciones que expresan que la energía, cuya principal fuente son las proteínas, da fuerza a las células para realizar sus funciones (CTG 13). Estas concepciones también son consideradas antropomórficas debido a que los

estudiantes piensan que si la célula obtiene las proteínas necesarias podrá desempeñar sus funciones internas y externas (“para hacer mover al tejido muscular”) (Dreyfus y Jungwirth, 1988), de manera análoga con lo que sucede en nuestro cuerpo, este podrá tener un mejor desempeño si obtiene energía de las proteínas.

Estos ejemplos muestran la dificultad de los alumnos de bachillerato para pensar en la célula sin recurrir al ser humano como referente de sus explicaciones, en su intento por comprender las funciones de algunos organelos. Es importante señalar que los estudiantes emplean el lenguaje antropomórfico sin estar conscientes de la generación de ideas previas y confusiones que pueden traer consigo; aunque podría ser que en algunos casos sólo sea el lenguaje pero también en otros puede tratarse de una representación de naturaleza antropomórfica. Por ello es necesario familiarizar a los alumnos en el correcto uso del lenguaje científico y que tomen conciencia de como emplean el lenguaje para la transmisión de sus ideas.

VI.2.1 Actividades relacionadas con los conceptos antropomórficos

Representación conceptual que se desea cambiar:

- La membrana tiene la capacidad de reconocer lo que es bueno para la célula (en eso consiste la propiedad de ser selectiva) (Dreyfus y Jungwirth, 1988 y 1989; Flores *et al.*, 2000).

Objetivo

- Que los estudiantes conciban a la membrana celular como una estructura constituida por una bicapa lipídica con propiedades químicas que le permiten ser selectiva.

Actividad 1

- Diseño de una estructura que asemeje la membrana celular. Se mostrará cada elemento de la bicapa: proteínas, cadenas de carbohidratos, regiones hidrofílicas.
- Dar un ejemplo del paso de los líquidos o de ciertas moléculas a través de ella.

Actividad 2

- Elaboración de ejercicios que permitan identificar enunciados antropomórficos y teleológicos y pedir a los alumnos que los conviertan en enunciados causales.

VI.3 Moléculas y reacciones químicas

Las células están formadas por proteínas, carbohidratos, grasas, ácidos nucleicos, vitaminas, esteroides, agua y sales minerales. Debido a la importancia que poseen estos compuestos orgánicos e inorgánicos en la célula y considerando las dificultades observadas en los estudiantes es que se han incluido dos actividades:

La primera consiste en utilizar una analogía (Glynn *et al.*, 1995) para llevar a los estudiantes a la visualización de las moléculas de carbohidrato, tomando en cuenta que esta analogía puede ser transferida a todas las macromoléculas.

La segunda consiste en una actividad experimental sobre la acción de la enzima catalasa en los tejidos vegetales y animales (Gutierrez *et al.*, 1968).

Aunque ambas actividades podrían incluirse como complemento del aspecto “tamaño y forma de la célula” ya que los estudiantes confunden los niveles celular y subcelular, debido a su importancia en la comprensión de los procesos celulares se han analizado por separado.

VI.3.1 Actividades para la enseñanza de moléculas y reacciones químicas

Objetivo

- Llevar a los estudiantes a visualizar la estructura general de una molécula de carbohidrato.

Actividad 1

- Explicar la analogía entre las moléculas de carbohidratos con un tren de carga hecho de vagones conectados mano a mano. Para ello se les deberá recordar a los alumnos que las moléculas de carbohidratos son generalmente largas cadenas de azúcares simples unidas mano a mano y que se les conoce como polisacáridos. La analogía es simple, el tren y los vagones corresponden a la molécula de carbohidrato y los azúcares, respectivamente. De acuerdo con Glynn, *et al.* (1995), la analogía es efectiva porque delinea una descripción mental familiar (un tren de carga) en el concepto objetivo (una molécula de carbohidrato).

Objetivo

- Llevar a los estudiantes a averiguar la presencia de la enzima catalasa en tejidos animales y vegetales.

Actividad 2

- Proporcionar cortes de varios tejidos animales y vegetales, evitando tocarlos con las manos. Poner de un lado cortes de tejido previamente hervidos y del otro, cortes de tejido sin hervir.
- Colocar un corte de tejido previamente hervido en 5 ml de solución de peróxido de hidrógeno al 3%. Por otro lado, colocar un corte de tejido sin hervir en otros 5 ml de solución de peróxido de hidrógeno al 3%.
- Hacer lo mismo con todas las muestras de tejido, anotando sus observaciones (Gutierrez *et al.*, 1968).

VI.4 Osmosis y difusión

Finalmente el cuarto aspecto es el relacionado con los procesos celulares de osmosis y difusión. Es importante proponer este tópico como una actividad a desarrollar porque aunque de manera general los alumnos de bachillerato tienen conocimientos básicos sobre los conceptos de osmosis y difusión, sus ideas muestran que su conocimiento sobre algunos conceptos químicos como los de hipertónico, hipotónico, es vago y limitado (Odom, 1995).

En la categorización se pudo apreciar que los alumnos no han integrado de manera efectiva sus conocimientos químicos y biológicos sobre el tema de osmosis y difusión ya que sus concepciones contienen rasgos antropomórficos y teleológicos, tal es el caso de la siguiente aseveración: "la osmosis es un producto de un deseo o una necesidad para igualar concentraciones, por lo que es la causa del movimiento del agua a través de una membrana" (Friedler y Tamir, 1987). Esta concepción refleja que el objetivo de la osmosis es igualar las concentraciones y que es el producto de un deseo ¿de quién? probablemente de la membrana. Esta idea bien podría estar ligada con la de "La membrana es selectiva en el sentido de que reconoce los materiales que deben entrar y rechaza los otros destruyéndolos" (Dreyfus y Jungwirth, 1988). Uniendo significados, los alumnos se refieren a que la membrana no sólo reconoce los materiales que deben entrar a la célula sino que también "desea" igualar las concentraciones entre el interior y el exterior de la célula.

Si bien los alumnos de bachillerato tienen conocimientos básicos sobre el tema de osmosis y difusión, es necesario proponer una forma efectiva de enseñanza de este tema para evitar recurrir a las explicaciones antropomórficas y teleológicas, tan frecuentes en los estudiantes.

Las actividades que se proponen para cada uno de los aspectos que se pretenden enseñar son descritas a continuación.

VI.4.1 Actividades para la enseñanza de osmosis y difusión

Representaciones conceptuales que se desean cambiar:

- La osmosis es el movimiento de agua desde una concentración alta hacia una baja, como el producto de un deseo o de una necesidad de igualar concentraciones (Friedler y Tamir, 1987; Zuckerman, 1994).
- Al colocar una célula vegetal en un medio salino, la vacuola central disminuye en tamaño porque la sal absorbe el agua (Odom, 1995).

Aspectos que se deben tomar en cuenta en la enseñanza de la osmosis y difusión

- La dirección de osmosis y difusión (Odom, A. L., 1995).
- Involucrar la enseñanza de conceptos físicos tales como *hipertónico*, *hipotónico*, *solución*, *concentración*.

Objetivo

- Que los estudiantes tengan los conocimientos básicos de cómo se efectúa la osmosis y que observen dicho proceso en el modelo de membrana celular y también a través de un experimento de laboratorio.

Actividad

- Con una simulación en computadora representar la difusión y la osmosis haciendo hincapié en los conceptos de: soluto, solvente, tamaño molecular, movimiento de las moléculas, entre otras.
- Montar un experimento que permita observar la osmosis utilizando papel celofán (como membrana) y por otra parte montar otro experimento que permita visualizar la difusión utilizando colorantes para hacerla visible.

CONCLUSIONES

Esta tesis tiene como propósito conocer las ideas previas con las cuales los estudiantes enfrentan el estudio de la célula en el bachillerato. El desarrollo de este trabajo permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- La investigación de las ideas previas de los estudiantes aún está muy fraccionada y no se tiene un panorama suficientemente amplio de sus representaciones conceptuales, no obstante de que se reconocen el modelo antropomórfico y el teleológico. Es necesario que continúen las investigaciones en este campo para conocer otros modelos explicativos que emplean los estudiantes.
- En general el conocimiento que poseen los estudiantes sobre la célula es insuficiente para que tengan una representación aproximada a la científica.
- Los estudiantes:
 1. Saben que la célula es la unidad estructural y de origen de los seres vivos.
 2. Confunden las escalas en el nivel microscópico.
 3. Transfieren las características macroscópicas al mundo microscópico.
 4. Trasladan atributos humanos hacia la célula.
 5. Afirman que la forma y el tamaño de las células no cambia.
 6. Confunden los procesos de osmosis y difusión y sólo los conocen a nivel superficial.
 7. Reducen los procesos de fotosíntesis y respiración a intercambios de gases con el ambiente.
- Es conveniente diseñar y validar estrategias de aprendizaje que promuevan el cambio conceptual en el tema de célula.
- Sería recomendable que en el diseño de programas de la materia de Biología se tomaran en cuenta las ideas previas y problemas conceptuales que tienen los estudiantes de bachillerato.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Alberts, B., Bray, D., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (1998). Essential Cell Biology. An introduction to the Molecular Biology of the cell. Garland Publishing, Inc. New York & London.
- ❖ Amir, R. & Tamir, P. (1990 April). Detailed análisis of misconceptions as a basis for developing remedial instruction: The case of photosynthesis. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Boston, MA, EE. UU.
- ❖ Anderson, C. H. & Sheldon, T. (1990). The effects of instruction on College nonmajors' conceptions of respiration and photosynthesis. Journal of Research in Science Teaching, 27 (8), 761 – 776.
- ❖ Banet, E. & Ayuso, E. (1998). La herencia biológica en la educación secundaria: reflexiones sobre los programas y las estrategias de enseñanza. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 16, 21-31.
- ❖ Banet, E. & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. Science Education, 84 (3), 313- 351.
- ❖ Banet, E. & Núñez, F. (1989). Ideas de los alumnos sobre la digestión: Aspectos fisiológicos. Enseñanza de las Ciencias, 7 (1), 35-44.
- ❖ Banet, E. & Núñez, F. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. Enseñanza de las Ciencias, 8 (2) ,105-110.
- ❖ Barak, J. & Gorodetsky, M. (1999). As "process" as it can get: Students understanding of biological processes. International Journal of Science Education, 21 (12), 1281-1292.
- ❖ Barrass, R., (1984). Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology. Journal of Biological Education, 18 (3), 201-206.
- ❖ Bishop, B. (1996). Respiration and photosynthesis: A teaching module. Institute for Research on Teaching, College of Education, Michigan State University.
- ❖ Brinkman, F., Schemer, A., Achterstraat & van der Stuijs, J., (1994). Learning and teaching in Biology. En F. G. Brinkman, J. A., van der Schee & M. C. Schouten-van Parreren. Different disciplines and common goals: the development of knowlwdge and skills in Secondary education (pp. 89 – 101). Amsterdam, Holande: Instituut voor Didactiek en Onnderwijspraktijk, Vrije Universiteit.
- ❖ Caballer, M. J. & Giménez, I. (1992). Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. Enseñanza de las Ciencias, 10 (2), 172-180.
- ❖ Caballer, M. J. & Giménez, I. (1993). Las ideas del alumnado sobre el concepto de célula al finalizar la educación general básica. Enseñanza de las Ciencias, 11 (1), 63-68.

- ❖ Campanario, J. M. y Otero, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: Las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 18 (2), 155 – 169.
- ❖ Cañal, P. (1999). Photosynthesis and "inverse respiration" in plants: An inevitable misconception? International Journal of Science Education, 21 (4), 363 – 371.
- ❖ Carey, S. (1985). Conceptual change in Childhood. Cambridge, MA: MIT Press.
- ❖ Chang, R. (1987). Fisicoquímica con Aplicaciones a Sistemas Biológicos. Compañía Editorial Continental.
- ❖ Chi, M. T. H., Slotta, J. D. & deLeeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. Learning and Instruction 4 (special issue), 27– 43.
- ❖ Coleman, W. (1983). La Biología en el siglo XIX. (1a ed.). México: Fondo de Cultura Económica.
- ❖ Díaz, B. J. y Jiménez, A. M. P. (1996). ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio. Enseñanza de las Ciencias, 14 (2), 183- 194.
- ❖ Dreyfus, A. & Jungwirth, E. (1988). The cell concept of 10th graders: Curricular expectations and reality. International Journal of Science Education, 10 (2), 221-229.
- ❖ Dreyfus, A & Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: A taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. Journal of Biological Education, 23 (1), 49- 55.
- ❖ Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Childrens' ideas in science. Milton Keynes: Open University Press.
- ❖ Dowben, R. M. (1971). Cell Biology. Singapore: Harper & Row, Publishers, Inc.
- ❖ Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks consequences for learning science. En S. Glynn, R. Yeany & B. Britton (Eds.), The Psychology of Learning Science. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- ❖ Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. Science Education, 75 (6), 649 – 672.
- ❖ Duit, R. (1999). Conceptual Change approaches in Science Education. En W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), New Perspectives on Conceptual Change (pp. 263 – 282). Oxford: Elsevier Science Ltd.
- ❖ Durfort, M. (1998). Consideraciones en torno a la enseñanza de la biología celular en el umbral del siglo XXI. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, 16, 93 -108.
- ❖ Duchesneau, F. (1992). Cómo nació la teoría celular. Mundo Científico, 120 (12), 26 – 37.
- ❖ Ernst, P. (1993). The One and the Many. En K. Tobin (Ed.), The practice of Constructivism in Science Education (pp. 459 – 464). Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- ❖ Flores, C. F. (2000, septiembre). La enseñanza de las ciencias: su investigación y sus enfoques. Documento presentado en el Congreso La Educación sus Tiempos y sus Espacios, Chiapas, México.

- ❖ Flores, C. F. (-). Los Cambios de Enfoque en la Enseñanza de la Física. Desde el Sur, Año 3, No. 8, 47 – 51.
- ❖ Flores, C. F., Tovar, M. M. E., Gallegos, C. L., Velásquez, M. M. E., Valdés, A. S., Sainz, C. S., Alvarado Z. C. y Villar, C. M. (2000). Representación e ideas previas acerca de la célula en estudiantes del bachillerato (Informe de investigación). México, D.F.: Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. Departamento de Actividades Editoriales de la Secretaría de Servicios de Apoyo al Aprendizaje.
- ❖ Flores, C. F., Tovar, M. M. E. y Gallegos C. L. (2001, febrero). La representación de la célula y sus procesos en estudiantes del bachillerato: Una visión integral.
- ❖ Flores, C. F., Tovar, M. M. E. & Gallegos, L. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: an integrated view. Internacional Journal of Science Education, 25 (2), 269 – 286.
- ❖ Friedler, Y., Amir, R. & Tamir, P. (1985 April). Identifying students difficulties in understanding concepts pertaining to cell water relations: An exploratory study. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. French lick Spring, IN, EE. UU.
- ❖ Friedler, Y., Amir, R., & Tamir, P. (1987). High school students' difficulties in understanding osmosis. International Journal of Science Education, 9 (5), 541-551.
- ❖ Gallegos, L. (1998). Formación de conceptos y su relación con la enseñanza de la Física. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- ❖ García, P. G. R. (1995). Pequeño Larousse ilustrado. (19 ed.). D.F, México: Ediciones Larousse, S. A. de C. V.
- ❖ García, Z. A. M. (1991). Estudio llevado a cabo sobre representaciones de la respiración celular en los alumnos de Bachillerato y COU. Enseñanza de las Ciencias, 9(2), 129- 134.
- ❖ Gómez, G. C. y Coll, C. (1994). ¿De qué hablamos cuando hablamos de constructivismo? Cuadernos de Pedagogía, 221, 8-10.
- ❖ Gomis, A. (1987). La teoría celular en España. Mundo Científico, 73 (7), 972 - 979.
- ❖ Gottfried, S. S. (1993). Biology Today. Mosby.
- ❖ Gutierrez, V. J. M., Villalobos, P. R., y Gómez, P. A., (1968). Investigaciones de Laboratorio y de Campo. Consejo Nacional para la Enseñanza de la Biología. C.E.C.S.A.
- ❖ Glynn, S. M., Duit, R. & Thiele R. B. (1995). Teaching Science with analogies: A strategy for construction knowledge. En S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), Learning Science in the Schools. Research Reforming Practice (pp. 247 – 273). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- ❖ Hackling, M. (1982). An examination of Secondary students' understanding of inheritance concepts. The Australian Science Teacher Journal, 28 (1), 13-20.
- ❖ Hashweh, M. Z. (1986). Toward an explanation of conceptual change. European Journal of Science Education, 8 (3), 229-249.

- ❖ Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. European Journal of Science Education, 4 (1), 61 – 78.
- ❖ Hewson, P. W. & Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. International Journal of Science Education, 11 (5), 541- 553.
- ❖ Holum, J. R. (2000). Fundamentos de Química General, Orgánica y Bioquímica para Ciencias de la Salud. Ed. Limusa. Wiley.
- ❖ Johnstone A. H. & Mahmoud, N. A. (1980). Isolating topics of high perceived difficulty in school biology. Journal of Biological Education, 14 (2), 163 – 166.
- ❖ Johnson, G. B. & Raven, P. H. (1996). Biology. Principles & Explorations. Holt, Rinehart and Winston.
- ❖ Lazarowitz, R. & Penso, S. (1992). High school students' difficulties in learning biology concepts. Journal of Biological Education, 26 (3), 215- 223.
- ❖ Ledesma, M. I. (2000). Historia de la Biología. AGT Editor, S.A.
- ❖ Lewis, J., Leach, J. & Wood, R. C. (2000). All in the gene? Young people's understanding of the nature of genes. Journal of Biological Education, 34 (2), 74 - 79.
- ❖ Llorens, J. A y de Jaime, M. C. (1987). El medio cultural y la formación de los conceptos científicos: Una aproximación lingüística. Infancia y Aprendizaje, 39-40, 47-55.
- ❖ Marco Conceptual para los Programas de Estudio del Área de Ciencias Experimentales (1995 Junio). Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM.
- ❖ Marek, E. A. (1986). Understandings and misunderstandings of biological concepts. The American Biology Teacher, 48, 37 – 40.
- ❖ Marín, M. N. (1999). Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. Enseñanza de las Ciencias, 17 (1), 80-92.
- ❖ Marín, M. N., Solano, M. I. y Jiménez, G. E. (1999). Tirando del hilo de la madeja constructivista. Enseñanza de las Ciencias, 17 (3), 479 - 492.
- ❖ Matthews, M. R. (2000). Editorial. Science & Education, 9, 491 – 505.
- ❖ Medina, A. (2003). Análisis de la construcción histórica y de las ideas previas de los estudiantes de Bachillerato en Genética para elaborar una propuesta educativa. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- ❖ Mintzes, J. J, Trowbridge, J. E. & Arnaudín, M. W (1991). Children's biology: Studies on conceptual development in the life sciences. En S. M. Glynn., R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), The psychology of learning science (pp.179 – 202). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- ❖ Nersessian, N. J. (1989). Conceptual change in Science and in Science Education. Synthese, 80, 163 – 183.
- ❖ Novak, J. D. (1995). El Constructivismo humano: Hacia la unidad en la elaboración de significados psicológicos y epistemológicos. En R. Portán, J. E García y P. Cañal (Eds.), Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias (23-39). Sevilla: Diada Editora, S.L.

- ❖ Odom, A. L., (1995). Secondary & College Biology students' misconceptions about diffusion & osmosis. The American Biology Teacher, 57 (7), 409 - 415.
- ❖ Odom, A. & Barrow, L. H. (1993 April). Freshman Biology Major's misconceptions about diffusion and osmosis. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA, EE. UU.
- ❖ Okeke, E. A. C. & Wood-Robinson C. (1980). A study of Nigerian pupils' understanding of selected biological concepts. Journal of Biological Education, 14 (4) 329- 338.
- ❖ Página de ideas previas: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>, revisión hecha en el año 2002.
- ❖ <http://www.dequate.com/infocentros/educacion/recursos/biologia/celula.htm>, revisión hecha en el año 2003.
- ❖ http://alipso.com/monografias/origenes_biologia_celymolec/, revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://www.ucmp.berkeley.edu/history/hooke.htm> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://www.elalmanaque.com/Ecología/célula.htm> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://escuela.med.puc.cl/publ/HistoriaMedicina/SigloXIXTeoriaCelular.htm> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ http://148.216.10.83/biologiaQFB1/teoria_celular.htm revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://www.biologia.arizona.edu/cell/tutor/cells/cells3.html> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://bio-ci.espana.es/bio-ci/memb.htm> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ http://mx.geocities.com/avolaje/Lacelula_b1/cubiertascelulares_b1.html revisión hecha en el año 2003.
- ❖ www.biosci.uga.edu/almanac/bio_103/notes/may_13.html revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://www.arrakis.es/~lluengo/transporte.htm> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ <http://www.cch.unam.mx/plandeestudios.htm> revisión hecha en el año 2003.
- ❖ Pashley, M. (1994). A-level students: Their problems with gene and allele. Journal of Biological Education, 28 (2), 120 – 126.
- ❖ Pintrich, P. R., Marx, R. W. & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. Review of Educational Research 63 (2), 167 – 199.
- ❖ Pfund, H. & Duit, R. (1999). Bibliography students' alternative frameworks and science education. Kiel, Ger: University of Kiel Institute for Science Education.
- ❖ Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1995). Acomodación de un concepto científico: Hacia una teoría del cambio conceptual. En R. Porlán, J. E. García y P. Cañal (Eds.), Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias (89-112). Sevilla: Diada Editora, S.L.

- ❖ Pozo, J. I., Gómez Crespo, M. , Limón, M., Sanz Serrano, A. (1991). Procesos cognitivos en la comprensión de la ciencia: Las ideas de los adolescentes sobre la Química. Madrid, España. C.I.D.E.
- ❖ Pozo, J. A., Sanz, A., Gómez Crespo, M. A. y Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: Una interpretación desde la Psicología cognitiva. Enseñanza de las Ciencias, 9(1), 83 – 94.
- ❖ Programas de Estudio para las Asignaturas de Biología I y II (Tercero y cuarto semestres) (1996 Julio). Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. Unidad Académica del ciclo de Bachillerato. Area de Ciencias Experimentales.
- ❖ Plan de Estudios Actualizado. Asignaturas del tercer semestre. Programa para alumnos (2000 Octubre). Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. Dirección General.
- ❖ Programas de Estudio para las Asignaturas de Biología I y II (Tercero y cuarto semestres) (2003 Abril). Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. Area de Ciencias Experimentales (obtenido de:
<http://www.cch.mx/sacademica/cienciassex/biologia1/frame2/unif>
- ❖ Programa Operativo de Biología I Unidad I (obtenido de:
<http://www.cch.mx/sacademica/cienciassex/biologia1/frame2/unif>).
- ❖ Rea, R. M. A. & Clement, J. (1997). Conceptual models of human respiration and alternative conceptions (that present possible impediments to students' understanding). The Fourth Internacional Misconception Seminar. From Misconceptions to Constructed Understanding, Amherst, Massachussets, EE.UU.
- ❖ Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1994). Fisiología Vegetal. D.F, México: Grupo Editorial Iberoamérica S.A de C. V.
- ❖ Savín, V. C. (1995). Procesos celulares (2ª reimpression). México: Editorial Trillas.
- ❖ Singer, C. (1946). Historia de la Biología. Espasa-Calpe. Argentina.
- ❖ Smith, M. U. (1991). Teaching cell division: Students difficulties and teaching recommendations. Journal of College Science Teaching, 28 -33.
- ❖ Smith, E. L., Blakeslee, T. D. & Anderson, C. W. (1993). Teaching strategies associated with conceptual change learning in science. Journal of Research in Science Teaching, 30 (2), 111-126.
- ❖ Solomon, J. (1987). Social influences on the construction of pupil's understanding of science. Studies in Science Education, 14, 63 - 82.
- ❖ Songer, C. J. & Mintzes, J. J. (1994) Understanding cellular respiration: An análisis of conceptual change in College Biology. Journal of Research in Science Teaching, 31 (6), 621-637.
- ❖ Starr, C. & Taggart, R. (2001). Biology. Brooks/Cole.
- ❖ Staver, J. R. (1998). Constructivism: Sound theory for explicating the practice of science and science teaching. Journal of Research in Science Teaching, 35 (5), 501-520.

- ❖ Stavy, R., Eisen, Y. & Yaakobi, D., (1987). How students aged 13 -15 understand photosynthesis. International Journal of Science Education, 9 (1), 102 – 115.
- ❖ Strike, K. A & Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl & R. Hamilton (Eds.) *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice* (Albany: State University of New York Press), 147-176.
- ❖ Théron, A. (1979). Botánica (2ª ed.). Barcelona: Montaner y Simon, S.A.
- ❖ Thorley, N. R. & Stofflett, R. T. (1996). Representation of the conceptual change model in science teacher education. Science Education, 80 (3), 317- 339.
- ❖ Treagust, D. F., Harrison, A. G. & Venville, G. J. (1996). Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. International Journal of Science Education, 18 (2), 213 – 229.
- ❖ Treagust, D. F. & Haslam, F. (1986, marzo). Evaluating Secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier diagnostic instrument. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco, CA, EE. UU.
- ❖ Venville, G. J. & Treagust, D. F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in Biology. Instructional Science, 24, 295 – 320.
- ❖ Ville, C. A. (1998). Biología (7ª ed.). México: Mc Graw Hill.
- ❖ von Glasersfeld, E. (1989). Cognition, Construction of Knowledge and Teaching. Synthese, 80 (1), 121-140.
- ❖ Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: State of the art and future directions. En W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), New Perspectives on Conceptual Change (pp. 3 – 13). Oxford: Elsevier Science Ltd.
- ❖ Wandersee, J. H. (1983). Students' misconceptions about photosynthesis: A cross-age study. Proceedings of the International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics, Cornell University, Ithaca, NY., 898 – 934.
- ❖ Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. En D. L. Gabel (Ed.), Handbook of research on science teaching and learning (pp. 177- 210). New York: Macmillan Publishing Company.
- ❖ Westbrook, S. L. & Marek, E. A. (1991). A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion. Journal of Research in Science Teaching, 28 (8), 649 – 660.
- ❖ Westbrook, S. L., (1992). A cross-age study of student understanding of the concept of homeostasis. Journal of Research in Science Teaching, 29 (1), 51 – 61.
- ❖ Zuckerman, J. T. (1994). Problem solvers' conceptions about osmosis. The American Biology Teacher, 56 (1), 22-25.
- ❖ Zuckerman, J. T. (1994). Accurate and inaccurate conceptions about osmosis that accompanied meaningful problem solving. School Science and Mathematics, 94 (5), 226- 234.