

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
POSGRADO DE PEDAGOGÍA
DOCTORADO EN PEDAGOGÍA

Una mirada tecnológica multidimensional en el aprendizaje de la estructura celular.

Tesis que presenta

Mtra. Miriam Virginia Muñoz Cruz

Para obtener el grado de

Doctora en Pedagogía

TUTOR: Dr. Enrique Ruíz - Velasco Sánchez

COTUTORES: Dra. Leticia Barba Martín ☒
Dr. Roberto Hermilo Pérez Benítez
Dra. Julieta Valentina García Méndez
Dra. Dulce María Gilbón Acevedo
Dr. José Antonio Jerónimo Montes

Agosto de 2009.



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.

Dedicatoria

A mi madre, por todos los sacrificios que ha tenido que hacer para lograr que sea una persona, así como por su generosidad y apoyo infinito e invaluable:

Natalia Cruz Salazar, Vda. De Muñoz

A mi abuelo por su filosofía de vida y su fortaleza de espíritu:

Bernardo Cruz Orozco

Para mis hermanos, porque siempre me han ayudado en los momentos difíciles:

Gabriel Eduardo Muñoz Cruz

Nce. Jorge Muñoz Cruz

A mis queridos hijos, razón de mi existencia y principal motor en mi vida:

Marco Alejandro Campos Muñoz

Adelina Alejandra Campos Muñoz

Para mi tutor, porque además de su generosidad y profundo conocimiento que ha compartido conmigo, me permitió incursionar en mundos académicos y personales antes desconocidos para mí.

Dr. Enrique Ruiz y de Velasco Sánchez

A la memoria de quienes en su tránsito por esta vida me llenaron de alegría y enseñanza:

Gloria Elena Campos Muñoz, +

José Vicente Muñoz Rivera, +

Gloria Salazar López, +

Alejandro Campos Caudillo, +

Dra. Leticia Barba Martín, + y

Dr. Fidel Sergio Sandoval Sevilla, +

Con cariño y agradecimiento para mi comité tutorial, porque reconozco que sus valiosas aportaciones promovieron la reflexión y consolidación de este trabajo:

Dra. Leticia Barba Martín +

Dr. Roberto Hermilo Pérez Benítez

Dra. Julieta Valentina García Méndez

Dra. Dulce María Gilbón Acevedo

Dr. José Antonio Jerónimo Montes

A mis amigos: *Biol. Ana María Torices Jimenez, Biol. Ma. Elena García Andrade, Biol. Gloria Arrambarri y compañeros biólogos del P.A.A.S 3.*

Con cariño para los compañeros del posgrado en pedagogía por los momentos compartidos: *Reyna Díaz Huerta, Abelardo Correa, Cristina Medina, Miguel Orozco, Francisco Conde...*

Para mis estudiantes, algunos trabajadores y compañeros profesores de la ENP 5, porque de todos he aprendido algo y me he motivado para continuar, a pesar de los cuestionamientos derivados de mis acciones en pro de crecer juntos.

Agradezco especialmente al L. A. Noé Jorge Muñoz Cruz por las traducciones de algunos de los textos en Inglés y al Mtro. Abelardo Correa la asesoría estadística en el uso del programa SPSS.

ÍNDICE

Índice de figuras.....	6
Índice de tablas.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
PRESENTACIÓN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO 1 PROBLEMÁTICA Y EJE DE DESARROLLO.....	16
1. 1 Intención.....	16
1. 1. 1 Categoría y características generales de la investigación.....	18
1. 1. 2 Situación general de la investigación y contexto de desarrollo..	20
1. 2 Complejidad del problema.....	28
1. 2. 1 Lo deseable en una biología maravillosa.....	28
1. 2. 2 Realidad que se vive en las aulas.....	32
1. 2. 3 Los jóvenes desde la institución (población meta).....	34
1. 2. 4 Algunas características de los jóvenes actuales.....	34
1. 2. 5 ¿Cómo se enseña biología?.....	36
1. 3 Planteamiento del problema.....	39
1.4 Preguntas de investigación.....	45
1.5 Objetivo.....	45
1.6 Hipótesis.....	46
1.7 Supuestos.....	47
1.8 Límites o fronteras de la investigación.....	49
1.9 Justificación.....	51
CAPÍTULO 2 EI APRENDIZAJE DE LA ESTRUCTURA CELULAR, UN PROCESO EXTRAORDINARIO Y COMPLEJO.....	54
2.1 El aprendizaje.....	55
2.2 La voluntad y la motivación.....	57
2.3 La percepción, la atención, la representación, la memoria, la imaginación y el modelo en el aprendizaje de la célula.....	61
2.2.1 La percepción.....	61
2.2.2 La atención.....	62
2.2.3 La representación.....	64

2.2.3 La memoria.....	68
2.2.4 La imaginación.....	71
2.2.5 El modelo.....	74
...	
2.4 Dimensiones en el aprendizaje de la célula.....	76
2.4.1 Dimensión disciplinaria.....	76
2.4.2 Dimensión didáctica.....	85
2.4.2.1 Las aulas.....	86
2.4.2.2 Distintas alfabetizaciones.....	87
2.4.2.3 La modelación.....	88
2.4.2.4 Didáctica de las imágenes.....	89
2.4.2.4.1 Calidad de la imagen en el aprendizaje.....	90
2.4.2.4.2 La imagen, la percepción y la carga cognitiva..	92
2.4.2.4.3 La imagen y la comunicación educativa.....	94
2.4.3 Dimensión psicológica.....	96
2.4.4 Dimensión neurobiológica.....	97
2.4.4.1 El cerebro en el Sistema Nervioso.....	98
2.4.4.2 Los hemisferios cerebrales.....	103
2.4.4.3 Los lóbulos: frontal, temporal, occipital y el hipocampo	105
2.4.4.4 Resumen del proceso de aprendizaje.....	108
2.4.5 Dimensión ética.....	110
2.4.6 Dimensión tecnológica.....	113
2.4.6.1 Herramientas de visualización.....	116
2.4.6.2 Simulaciones.....	118
2.4.6.3 Miniquest.....	120
2.4.6.4 LMS.....	121
2.4.6.5 E portafolio.....	126
2.4.6.5.1 Aspectos propios del diseño.....	129
2.5 Mapas Mentales como síntesis de las dimensiones para el aprendizaje de la estructura celular.....	130
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	136
3.1 Revisión, selección y recopilación de información.....	136
3.2 Participación en foros.....	140
3.3 La formación del Posgrado en Pedagogía.....	143
3.4 Otros espacios de reflexión colectiva.....	144
3.5 Planeación de la experiencia con mapas mentales.....	144

3.6 Consideraciones en el análisis estadístico.....	165
CAPÍTULO 4 PROPUESTA PEDAGÓGICA	168
4.1 Planeación de la propuesta.....	168
4.2 Herramientas de la mente: software, mapas mentales, curso - taller y miniquist.....	169
4.3 Miniquist.....	176
4.4 Rúbrica.....	178
4.3 Propuesta pedagógica para el curso - taller.....	181
CAPÍTULO 5 EXPERIMENTACIÓN.....	184
5.1 Trabajo Piloto.....	184
5.2 Resultados.....	188
5.2.1 Análisis gráfico.....	188
5.2.2 Análisis estadístico.....	192
5.2.3 Análisis no estadístico o cualitativo.....	200
5.3 Respuesta a las preguntas de investigación.....	209
5.4 El valor didáctico de la imagen en los mapas mentales.....	215
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y VÍAS DE DESARROLLO.....	220
6.1 A manera de conclusión.....	220
6.2 Líneas futuras de investigación.....	224
REFERENCIAS.....	237
Bibliografía.....	237
Hemerografía.....	243
Webgrafía.....	245
Manuscritos.....	248
Apéndice 1 Otras felicidades, hormigas y deportistas.....	249
Apéndice 2 Artículo “Las hormigas acuden puntuales a sus citas”...	255
Apéndice 3 Artículo “La biología del deportista”.....	257

ÍNDICE DE FIGURAS:

1.1	Sitio virtual al que se suscribe mediante pago.....	22
1.2	Sitio virtual de código abierto para el aprendizaje de la estructura celular.....	23
1.3	Ejemplos de ciberestudiantes.....	37
1.4	Gradiente entre las representaciones visuales concretas y abstractas.....	41
1.5	Resumen de la hipótesis de este trabajo de investigación, como proceso.....	48
2.1	Ambos hemisferios cerebrales.....	101
2.2	Corte sagital de encéfalo.....	102
2.3	La materia gris y la materia blanca.....	104
2.4	El aprendizaje desde la mirada neurobiológico – tecnológica.....	111
2.5	Simulación de la membrana plasmática.....	119
2.6	Comparación entre dos LMS.....	124
2.7	Un ejemplo de e-portafolio.....	128
2.8	Mapa mental que explica las bondades de los mapas mentales.....	133
2.9	Mapa mental para la elaboración de mapas mentales.....	134
2.10	Mapa mental de la presente tesis.....	135
3.1	Estructura conceptual inicial sobre el aprendizaje.....	138
3.2	Presentación de ponencias en foros nacionales e internacionales.....	141
3.3	Desarrollo de la práctica de la fecundación <i>in vitro</i>	150
3.4	Comparación ente observaciones en microscopio fotónico y electrónico.....	154
3.5	Mapa mental de una estudiante de 5º año, sobre felicidad.....	155
3.6	Mapa mental de una estudiante de 6º año.....	156
3.7	Mapa mental con sello personal.....	157
3.8	Mapa mental sobre un artículo de divulgación.....	158
3.9	Otro mapa mental del artículo.....	159
3.10	Fragmento de un mapa mental de otro artículo de divulgación.....	160
3.11	Segundo mapa mental de otro artículo de divulgación.....	161
3.12	Tres aspectos esenciales en la metodología.....	164
4.1	Comparación entre los programas Visual Mind y Eve.....	171
4.2	Página principal de Visual Thesaurus.....	174
4.3	Funcionamiento del programa Visual Thesaurus.....	175
4.4	Diseño de la interfaz para el curso taller de mapas mentales.....	179
4.5	Rúbrica para un mapa mental.....	180
5.1	Mapa mental de la célula de un estudiante de 5º de preparatoria.....	186
5.2	Mapa mental de la estructura celular.....	187
5.3	Comparación gráfica de los exámenes entre grupos.....	190
5.4	Mapa mental No. 1.....	201
5.5	Mapa mental No. 2.....	202
5.6	Mapa mental No. 3.....	204
5.7	Mapa mental No. 4.....	207
5.8	Mapa mental No. 5.....	208
5.9	Fotografía tomada de la hemeroteca de la FC de la UNAM.....	219
6.1	Mapa mental resumen de la propuesta pedagógica.....	223
6.2	El ambiente en el salón de clases durante la elaboración de.....	225
6.3	Concepto mirador, articulador o de frontera.....	228
6.4	Estructura conceptual de ubicación espacio temporal de la célula.....	231
6.5	Estructura conceptual del contexto social de la célula.....	232
6.6	Estructura conceptual de la membrana plasmática.....	233
6.7	Estructura conceptual del citoplasma.....	234

6.8	Estructura conceptual de la célula procarionte.....	235
6.9	Estructura conceptual de una célula tipo.....	236

ÍNDICE DE TABLAS

1	Planeación de la estrategia de aprendizaje.....	163
2	Comparación entre las herramientas de visualización.....	170
3	Propuesta pedagógica (planeación de actividades).....	183
4	Comparación entre los cuatro grupos.....	191
5	Comparación entre el pre test y el post test sin mapas.....	194
6	Comparación entre el pre test y el post test con mapas.....	195
7	Comparación entre los post test con y sin mapas.....	196
8	Comparación entre el pre test y el post test sin mapas.....	197
9	Comparación entre el pre test y el post test con mapas.....	198
10	Comparación entre los post test con y sin mapas	199

RESUMEN

Un problema fuerte es la comprensión y apropiación del lenguaje verbal y visual de una disciplina científica (Biología). Esta propuesta pedagógica alterna a la manera regular en que se aprende la estructura celular en el bachillerato, posee un enfoque tecnológico multidimensional, porque aborda las dimensiones: disciplinaria, didáctica, psicológica, neurobiológica, ética y tecnológica. Analiza los componentes del aprendizaje: la atención, la percepción, la representación, la memoria, la imaginación y el modelo.

La propuesta incluye: trabajo de laboratorio, síntesis y manejo de información, elaboración de mapas mentales e imaginación asistida por computadora. Detalla esta experiencia "piloto" con estudiantes de la ENP 5 de la UNAM. En la cual expresa cómo los mapas mentales son un soporte que ayuda a una representación mental visual integral. Permiten: organizar, jerarquizar, interconectar y sistematizar la información.

Los resultados reportan que en el pretest y posttest sin mapas mentales, no hay diferencias significativas. Mientras que en el pretest y posttest con mapas mentales si hay diferencias significativas.

Se explora la potencialidad de representaciones gráficas del pensamiento digitales, el uso de los programas: *CMapTools*®, *Inspiration*®, *Visual Mind*® o *Mind Mapping*® y *Eve*®, considerados herramientas de organización de la información con capacidad de potenciar las habilidades del pensamiento.

Se responde a las preguntas de investigación y se discuten las funciones didácticas de la imagen, en los mapas mentales como estrategias de aprendizaje. Además, las posibilidades de los grupos numerosos y la inteligencia colectiva, se hacen reflexiones sobre el uso de la tecnología y se proponen algunas líneas de investigación futuras.

ABSTRACT

A strong trouble is the comprehension and appropriation of verbal & visual language of a scientific discipline (Biology). This pedagogic proposal alternate to the regular way in that it learn the cellular structure in high school diploma, It has a technological multidimensional view, because it broach the dimensions: disciplinary, didactic, psychological, neurobiologic, ethics and technological. It analyses the components of learning: attention, perception, representation, memory, imagination and the model.

The proposal includes: work in laboratory, synthesis and management of information, the making of mind maps and imagery computer assisted. It details this “pilot” experience with students of ENP 5 of the UNAM (a High School belonging to National Autonomous University of Mexico), It express in how the mind maps are a support that help to one integral visual mental representation. They let: to organize, to hierarchize, interconnect and to systematize information.

The outcomes report that the pretest and the posttest without mind maps, there aren't meaningful differences. However the pretest and the posttest with mind maps are meaningful differences.

It explores the potentiality of digital graphics representations of thinking, the use of the programs: *CMapsTools*®, *Inspiration*®, *Visual Mind*®, *Mind Mapping*®, and *Eve*®, they are considered tools of management of information with capacity to improve the thinking skills.

It answers the questions of research and it discuss the didactic functions of image, in the mind maps, just like strategies of learning. Moreover, the possibilities of big groups and the collective intelligence, It make reflections about the use of technology and it proposes some future lines of research.

Keywords: learning, mind mapping, tools for enhancing thinking skills, laboratory work, eucariotic cell structure, high school students.

PRESENTACIÓN

El principal problema al que nos enfrentamos los docentes de biología, antes de ayudar a un estudiante a visualizar, entender comportamientos gráficos o matemáticos, como los patrones y procesos de los fenómenos naturales, es indispensable que adquiera un nivel esencial que sienta las bases conceptuales para la mejor comprensión de un objeto de estudio. En los alumnos un problema fuerte es la comprensión y apropiación del lenguaje verbal de una disciplina científica (Biología), porque es distinto a uno que le sea familiar al estudiante y lo acepte, probablemente más coloquial, pero acorde con su propia realidad.

Por otra parte, en la actividad docente cotidiana, la intuición puede ayudarnos a detectar cuando algunas estrategias didácticas, entendidas como los métodos y materiales que seleccionamos y organizamos para el logro de nuestras metas en el aprendizaje de conceptos, nos generan inconformidad, o consideramos que no son las más adecuadas. Por ejemplo, un profesor de biología en el bachillerato o en el nivel superior no debe empezar su clase de célula dibujando una “bolita” en el pizarrón, porque genera representaciones erróneas de la misma en sus estudiantes, no sólo con relación a la teoría sino también en la práctica (Cfr. Pacheco, 2004:122).

Por otra parte, la manera en que regularmente se enseñan y aprenden los contenidos de biología celular, es de forma aislada o fragmentada; en ese sentido surge la inquietud de

...cómo organizar temas que por tradición se han tratado bajo un esquema fraccionado, como el que se usa en algunos de los textos utilizados en los cursos convencionales de Biología Celular..., en los que varios capítulos se refieren a La membrana plasmática, El núcleo celular, El citoesqueleto, etc, como si se tratara de componentes que existen y actúan en forma aislada y sin relación unos con otros. (Cfr. León Cázares y Flores 1994: 4).

Aunado a la manera de enseñar, otro problema radica en la forma en que los libros abordan la temática de la estructura celular o de otros temas en Biología, porque como lo señala Sánchez y Escudero (2002:8)

...enseñar ciencias implica, entre otros aspectos, establecer puentes entre el conocimiento, tal como lo expresan los científicos a través de los textos, y el conocimiento que pueden construir los alumnos. Para conseguirlo es necesario reelaborar el conocimiento de los científicos de manera que se pueda proponer al alumno en las distintas etapas de los procesos de enseñanza aprendizaje.

En ese sentido reelaborar el conocimiento para facilitar el proceso de aprendizaje, tal vez no solamente implicaría un cambio de lenguaje verbal, sino la inclusión del lenguaje visual, icónico o gráfico con la finalidad de que facilite la construcción y apropiación de conocimiento científico por parte de los estudiantes.

Además, para comprender la estructura espacial de la célula, entendida como interacción o conexión física, dinámica, de distintas partes, los estudiantes requieren usar su imaginación. Porque sucede que dentro de las disciplinas científicas, dicha estructura carece de referentes en nuestra escala de percepción, como sería en el macrocosmos donde se ubican los planetas, las estrellas o las radiaciones solares, o en el otro extremo de la percepción de fenómenos que ocurren a escalas microscópicas, submicroscópicas y simbólicas.

Entonces, ¿cómo acercar a nuestros estudiantes a que perciban un cierto objeto de estudio que no les es cercano? ¿Cómo potenciar nuestras clases tomando como referente los mapas mentales u otras representaciones gráficas de información, o del pensamiento, que se plasman mediante software en pantalla, o en papel? ¿Cuáles son opciones viables? ¿Cómo seleccionar críticamente los materiales disponibles en Internet? ¿De qué manera podemos hacer uso racional o inteligente de la información, desde una mirada pedagógica? ¿Cómo respetar la autonomía de los estudiantes y atender a sus requerimientos, necesidades o capacidades?; sin descuidar la innovación ¿Qué habilidades de base tienen y qué otras habilidades pretendemos que desarrollen a partir de nuestra aplicación?

Este trabajo da cuenta de una experiencia “piloto”, con estudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria No. 5 de la Universidad Nacional Autónoma de México, particularmente, cómo la aplicación de mapas mentales puede volver sustantivo el uso de estos recursos desde la mirada de la didáctica, a fin de proveer un soporte de aquello que se pretende representar o comunicar; además, permiten una representación mental visual más integral, que otorga la posibilidad de organizar, jerarquizar, interconectar y sistematizar información. Asimismo, ofrecer una alternativa en los modos de uso desde la mirada de la tecnología y la didáctica para el aprendizaje de la estructura celular, con estudiantes de bachillerato universitario.

INTRODUCCIÓN

Esta tesis doctoral da cuenta de cómo puede ser abordado el tema de la célula viva, desde un enfoque tecnológico y didáctico multidimensional, alternativo a la manera en que regularmente se muestra en las aulas o en los libros de texto. Así, con ayuda de la tecnología, valiéndose de las representaciones mentales y físicas del conocimiento que elabora un estudiante, logre construir un concepto de célula complejo, dinámico, pueda visualizarla como un todo interactuante, no fragmentado, no mecánico, ni estático, mucho menos plano. Ya sea en su mente, en papel o visualizaciones de computadora, e independientemente de cual sea la disponibilidad de los recursos y del tiempo que tiene. A la vez con ayuda de la tecnología tal estudiante pueda potenciar sus habilidades de pensamiento.

Porque los profesores de biología enfrentan distintos retos para que los estudiantes, con base en su conocimiento tomen decisiones sobre su vida, se apropien de la lógica, el lenguaje verbal y visual de una célula viva, adquieran un pensamiento multinivel, y desarrollen procesos de razonamiento de distinto tipo. Parte del problema radica en que la formación de algunos docentes es solamente disciplinaria, lo cual impide una visión educativa más amplia, que considere distintos aspectos, como las dimensiones en el aprendizaje de la ciencia, aspecto no trivial, por su gran complejidad.

La propuesta pedagógica que deriva de este trabajo de investigación considera las dimensiones: disciplinaria, didáctica, psicológica, neurobiológica, ética y tecnológica; en ella se plantean las siguientes preguntas:

¿Cómo podría ser abordado el tema de la estructura celular, desde el enfoque tecnológico - didáctico multidimensional y holístico, valiéndose de representaciones internas y externas, que ayuden a un estudiante a construir relaciones entre los conceptos implicados para integrar una visión de célula compleja, e inclusive dinámica?

¿Cómo ayudar a que los estudiantes o profesores de bachillerato construyan el concepto de célula viva, sin utilizar recursos cognitivos costosos, ni perder el rigor de la disciplina?

¿Podría la visualización de imágenes mediante mapas mentales u otros instrumentos de representación gráfica en papel o computadora, servir como herramienta de recuperación, análisis, organización y construcción de conocimiento de la estructura celular?

Contenido de los Capítulos

Capítulo 1 Problemática y eje de desarrollo. Este capítulo aborda la necesidad de desarrollar nuevas maneras de aprender alternas a la forma regular de enseñanza. Se explica la dificultad de la enseñanza y el aprendizaje de la estructura celular, así como los prejuicios o resistencias a vencer en dicho proceso. También se detalla ¿cuál es el interés desde la institución por los jóvenes? y algunas características de los mismos en el presente. Se expone además, por qué ésta es una investigación mixta, ubicada entre los enfoques interpretativo y positivista. Se discute porqué las personas no debemos mantenernos al margen de la ciencia y la tecnología, así como la responsabilidad que tenemos con las generaciones de estudiantes, independientemente de cómo ellos sean. Igualmente, el capítulo detalla: el planteamiento del problema, las preguntas de investigación, el objetivo, las hipótesis, los supuestos, los límites o fronteras de la investigación y la justificación.

Capítulo 2 El aprendizaje de la estructura celular un proceso complejo y extraordinario. Con base en la revisión bibliográfica, hemerográfica y de la Internet (*World Wide Web*), se establecen dos niveles para conceptualizar el aprendizaje. El primero es a partir de conceptos clave: percepción, atención, representación, memoria, imaginación, modelo, voluntad y motivación. Un segundo nivel es vía las dimensiones del aprendizaje: dimensión disciplinaria, la referida a la estructura celular; la dimensión didáctica, con énfasis en las distintas alfabetizaciones, la modelación y la didáctica de la imagen; en la dimensión psicológica se aborda el concepto de imagen mental visual y su relación con las imágenes en las representaciones gráficas; mientras que en la dimensión neurobiológica la mirada es

atenta al sistema nervioso, los hemisferios y lóbulos cerebrales con relación a las imágenes, la memoria y el aprendizaje. La dimensión ética toca aspectos de la autonomía de los estudiantes, la ética tecnológica y la ética de la imagen. Se detalla la dimensión tecnológica, donde son tratados aspectos relativos a las computadoras como herramientas para potenciar las habilidades de la mente, como las herramientas de visualización, las simulaciones, las MiniQuest, los LMS y el e – portafolio. Para cerrar el capítulo se analiza el papel de los mapas mentales como síntesis de las dimensiones para el aprendizaje de la estructura celular.

Capítulo 3 Metodología de la investigación en este capítulo se detalla cómo se efectuó la revisión, selección y recopilación de información para esta tesis. Se describe la importancia de la participación de la autora de este trabajo en foros internacionales y nacionales. Por otra parte, es valorada la formación que proporciona el Posgrado en Pedagogía, entre otros. En apartados posteriores dentro de este capítulo, se describe cómo se planearon las actividades con miras a la propuesta pedagógica, considerando el trabajo de laboratorio con los estudiantes y cómo se estructuró la estrategia de aprendizaje con mapas mentales. Asimismo se incluyen algunas de las consideraciones previas al análisis estadístico de los resultados.

Capítulo 4 Propuesta pedagógica se establecen algunas consideraciones pertinentes para elaborar un curso taller sobre la estructura celular. Cabe hacer notar que la propuesta incluye en su planeación las herramientas de la mente, como los mapas mentales, programas de cómputo útiles como herramientas de visualización: Inspiration©, Eve©, Visual mind©, CMapTools©, entre otros. Se describe por sesión el curso taller, en el que además del trabajo de laboratorio, se incluye una rúbrica para evaluar mapas mentales, así como la elaboración y desarrollo de un MiniQuest para el aprendizaje de células madre.

Capítulo 5 Experimentación: es descrita la experiencia adquirida durante el trabajo “piloto” efectuado con los estudiantes de la ENP No. 5 para la apropiación del concepto de estructura celular. Se muestra cómo los estudiantes desarrollaron la estrategia de los mapas mentales, junto a otras actividades como la observación microscópica de tipos celulares y la fecundación in vitro de las almejas. Son

mostrados los resultados a través de los análisis: gráfico, estadístico (mediante las pruebas de U Mann Whitney y t de Student) y no estadístico (cualitativo). Se da respuesta a las preguntas de investigación, para cerrar con el valor didáctico de la imagen en los mapas mentales.

Capítulo 6 Conclusiones y vías de desarrollo: el capítulo expone las conclusiones y ciertas líneas de investigación a futuro, dignas de ser tomadas en cuenta. En las conclusiones se discuten las aportaciones de la propuesta, el valor de los ambientes de aprendizaje mixtos (blended learning) y la reflexión sobre el uso de la tecnología. Sobre las líneas futuras, se comenta la potencialidad de las imágenes en el aprendizaje de la biología, las herramientas de organización de la información, las estructuras conceptuales, el concepto “mirador”, la metacognición y el uso de las animaciones y las simulaciones, entre otros.

CAPÍTULO 1 PROBLEMÁTICA Y EJE DE DESARROLLO

1.1 Intención:

Como el aprendizaje de una disciplina científica es un fenómeno extraordinariamente complejo y multidimensional, esto nos lleva a seguirnos formando dentro del posgrado. El interés por encontrar nuevas metodologías y estrategias¹ para lograr que nuestros estudiantes aprendan de manera significativa y placentera, se apropien de un cierto contenido, así como del lenguaje verbal y visual de la biología, particularmente de la estructura espacial de la célula, que sean capaces de usar su imaginación para entender fenómenos en escalas espaciales y temporales ajenos a la escala de percepción propia; además, logren activar su memoria de largo plazo para tomar decisiones sobre su vida cotidiana o profesional y que den continuidad en el tiempo a nuestras instituciones, en fin, que contribuyan a una sociedad mejor que la que están viviendo en este momento.

Fensham (2002, en Gil y Vilches 2006:2), expresa que “considerar que una sociedad científicamente alfabetizada está en mejor situación para actuar racionalmente frente a los problemas socio-científicos constituye una ilusión, por cuanto se ignora la complejidad de los conceptos científicos implicados”. Como se verá más adelante, aquí se pretende que el conocimiento biológico sea accesible a todos, porque de una manera o de otra, a pesar de la complejidad, los estudiantes tendrán la posibilidad de tomar decisiones cuando menos sobre su vida cotidiana.

Para ello deberíamos transformar la manera regular en que se vive la enseñanza o el aprendizaje de la ciencia, en el nivel de bachillerato universitario, pasar de un hacer estático a uno más dinámico, de simples caricaturas de la realidad, a imágenes más cercanas a las usadas por los biólogos en su actividad profesional cotidiana.

¹ Las **estrategias** se refieren a tácticas de aprendizaje usadas intencionalmente para lograr una meta o propósito específicos (Dale, Duffy, Roehler, & Pearson, 1991, en: Schraw y Brooks 2006:4). Son esenciales para el aprendizaje efectivo por muchas razones. Ellas permiten a los aprendices usar sus recursos cognitivos limitados más eficientemente, aproximarse a los problemas más sistemáticamente, e incrementar creencias motivacionales positivas tales como ¡la auto – eficacia! Disponible en <http://dwb.unl.edu/Chau/SR/Self-Reg.html>

Esto es hacer un uso menos seductor y más racional de la imagen, en la organización, recuperación o construcción de conocimiento, teniendo presente que logre una progresión en el aprendizaje. Por ello, este trabajo pretende esclarecer desde ciertas situaciones de aprendizaje, vía un uso racional de la tecnología, los procesos por los cuales los individuos: examinan o tratan la información proveniente de los textos, hipertextos, o de otro espacio de información; en la construcción de representaciones mentales que les permitan articular mayor información de manera integral, **vía el enfoque de la imaginería mental**, desde la imaginación, con el apoyo de los mapas mentales y la visualización tecnológica, mediante un software o un CD, diseñado para ello.

Probablemente, al apoyar a los estudiantes a apropiarse de las herramientas tecnológicas y didácticas adecuadas, lograrán crear una representación mental fina, y se propiciarán las condiciones para que su interpretación de la realidad sea cercana a la interpretación científica, es decir, llevarlos desde sus ideas previas, marcos ingenuos o explicaciones que poseen acerca de un tema, hacia la construcción de modelos mentales, en papel y mediados por computadora, al desarrollo de la complejidad del pensamiento², un terreno cognitivo más firme.

Desde la biología, hacer eficiente la construcción de conocimiento; partir de la información disponible pero desde una perspectiva crítica, selectiva y creativa. Sobre todo porque en este momento existe una preocupación por reducir la “brecha tecnológica” que se está dando en todo el mundo, entre los que tienen conocimiento y los que no lo tienen (Lévy, 2004:7) Ayudar a que estudiantes y profesores puedan transformarse de sólo consumidores de programas, cursos o tecnología, en generadores o gestores de nuevo conocimiento, acorde a sus disciplinas, necesidades y en función de los recursos de que disponen.

Todas las personas que nos dedicamos a la docencia sabemos que no hay fórmulas mágicas que hagan que los estudiantes aprendan, con o sin ayuda de la tecnología, porque el fenómeno educativo es extraordinariamente complejo. Sin embargo, si se

² Morán (1995:32) señala que “la dificultad del pensamiento complejo es que debe enfrentar lo entramado (el juego infinito de inter – retroacciones, a solidaridad de los fenómenos entre si, la bruma, la incertidumbre, la contradicción)”.

es responsable con la actividad docente, Jonas (2004:8) opina que: "... es necesaria una nueva ética: una ética orientada al futuro, que puede ser llamada con toda propiedad, "ética de la responsabilidad". "Una ética actual que se cuida del futuro, que pretende proteger a nuestros descendientes de las consecuencias de nuestras acciones presentes". Somos responsables por las generaciones de estudiantes que tenemos en nuestras manos y por las que vendrán.

Porque como explica lafrancesco (2005:7):

...es importante que los educadores, desde sus contextos escolares, con los educandos que tienen (y no con los que quisieran tener) asuman el reto de crear, ingeniar e innovar nuevas metodologías y estrategias para que los educandos gusten de las ciencias y la biología, desarrollen su pensamiento científico, adquieran hábitos, habilidades y destrezas propias de un biólogo y aprendan los contenidos conceptuales de la biología, en todas sus subdisciplinas.

1. 1. 1 Categoría y características generales de la investigación

Como los fenómenos educativos son extraordinariamente singulares y complejos Gimeno y Pérez (1999:115) afirman que: "El problema de la investigación en ciencias sociales en general y en educación en particular, reside en la peculiaridad del objeto de conocimiento: los fenómenos sociales y los fenómenos educativos. El carácter subjetivo y complejo de éstos requiere una metodología de investigación que respete su naturaleza".

Con esa consideración en mente, este apartado explica por qué para desarrollar este trabajo de investigación educativa de desarrollo, se empleó un enfoque *mixto*, incluye **algunas** de las características propias de los enfoques positivista y alternativo.

Además, este trabajo cuestiona la manera inadecuada de abordar el tema de célula, ya sea por parte de los docentes y de algunos libros de texto; según Carr (1996 en Heredia 2004: 87) "La investigación educativa se diferencia de la investigación teórica por ocuparse siempre de problemas (educativos) prácticos, los cuales surgen cuando las prácticas utilizadas son inadecuadas respecto a su fin".

Por otra parte, esta investigación puede describirse como de desarrollo o aplicada, porque intenta probarse que los mapas mentales, junto con otros programas (software) o herramientas que funcionan como organizadores gráficos del

pensamiento, son de utilidad para sistematizar los procesos de pensamiento de los estudiantes, con lo que se apoyaría el aprendizaje de la estructura de la célula; así, se “hace referencia a aquellos casos en los que el objetivo fundamental de la investigación es el probar que algo *funciona*, es decir, que una determinada intervención aplicada a una situación ayuda a modificarla en un sentido socialmente deseable” (León y Montero, 2003: 328).

En cuanto al enfoque con el que se abordará metodológicamente el trabajo, puede decirse que es *mixto* porque combina atributos de los enfoques positivista e interpretativo, lo cual es evidente en visiones de la didáctica contemporáneas, porque en visiones pasadas esto no era posible, se consideraban incluso contradictorias o hasta contrarias. Así, de acuerdo con Heredia (2004:86): “Un enfoque novedoso desde una perspectiva general de investigación sería buscar la complementariedad entre las metodologías cuantitativas y cualitativas de la investigación”. Dicho autor señala en un párrafo posterior que “...El investigador adoptaría una **perspectiva paradigmática flexible** según lo que resulte más apropiado a la investigación, de manera que **elija la mejor combinación de atributos y métodos de ambos paradigmas** (cuantitativo y cualitativo)”.

Knobel y Lanshear (2003: 173) opinan que la *investigación cuantitativa* se refiere a “una búsqueda en un problema social o humano basada en la comprobación de una teoría compuesta de variables, medida con números y analizada con procedimientos estadísticos a fin de determinar si son ciertas las generalizaciones predictivas de la teoría”. Mientras que para estos mismos autores “se habla de *investigación cualitativa* para hacer referencia a un conjunto de diseños y enfoques de investigación que se emplean en contextos de la vida real”.

En ese sentido este trabajo es de *enfoque mixto* porque se aborda un problema del aprendizaje de la estructura celular, donde se obtienen datos de los exámenes de los estudiantes que se analizan a la luz de la estadística; a la vez se examina un problema cotidiano en el bachillerato o aún en la licenciatura y se plantean hipótesis que intentan descifrarse a lo largo de esta investigación.

Cabe mencionar que para Heredia (2004:81), el *enfoque positivista* “considera que los fenómenos sociales contienen regularidades que pueden ser identificadas y manipuladas como objetos del mundo material”. Para este mismo autor, el *enfoque alternativo o interpretativo* “supone situarse en una **posición fenomenológica** que trata de comprender las interacciones y significados de las acciones de los sujetos protagonistas de la situación”. Nuevamente el trabajo identifica regularidades de los fenómenos de estudio, como el uso de organizadores gráficos y simultáneamente pretende captar no sólo los números sino los significados para los sujetos, a partir del análisis de los mapas extraer información relativa al proceso de apropiación del contenido y las implicaciones de uso de dicha estrategia.

Gimeno y Pérez 1999: 123 indican que “La investigación desarrollada dentro del enfoque positivista pretende seguir como ideal el conocido modelo hipotético – deductivo de razonamiento, que plantea los siguientes pasos: teorías, proposiciones y conceptos, hipótesis,...”. Y que en la estructura misma del cuerpo de esta tesis son evidentes. Estos autores afirman, por otra parte que,

...el enfoque interpretativo prefiere seguir como estrategia de investigación una lógica mixta, inductivo – deductiva, de modo que se produzca constantemente una interacción entre las teorías o hipótesis de trabajo y los datos, los enfoques y los acontecimientos. El propósito **no es comprobar hipótesis**, sino sumergirse en la complejidad de los acontecimientos reales e indagar sobre ellos...

Ahí está la riqueza del enfoque mixto, por una parte permite sistematizar datos de diversa índole producto de la investigación y simultáneamente considera la complejidad y la naturaleza del fenómeno educativo.

1.1.2 Situación general de la investigación y contexto de desarrollo

Para la elaboración de esta tesis doctoral se han tomado textos digitales e impresos provenientes de la Tecnología, la Didáctica, la Biología, la Neurobiología, la Psicología y la Ética para conformar el aparato crítico. Sin embargo, en este apartado solamente se mencionan algunos de los documentos que se consideraron más relevantes, relativos a la tecnología y didáctica de la célula. Por otra parte, a fin de tener un mejor referente se hizo la revisión de la literatura en tres niveles educativos: la secundaria, el bachillerato y la licenciatura.

Para iniciar la discusión, quiero destacar que un tema novedoso con gran potencial a futuro, que proveerá de numerosas e interesantes preguntas de investigación es el modelado matemático de sistemas celulares. Dicho modelado es el propuesto por el *National Research Council of the National Academies NRCNA* (2001:52) a través del libro *Mathematics and Biology in 21st Century*, en el que se afirma: “Con los rápidos crecimientos en poder computacional y la sofisticación de mediciones biofísicas, uno puede imaginar construir modelos razonablemente exactos de las dinámicas del ADN y las proteínas, mientras que todas las descripciones cuantitativas serán todavía aproximadas para las células”. En la misma página mencionan que:

...aún los más simples modelos celulares deben ser extraídos desde datos experimentales heterogéneos, multivariados y espacialmente resueltos. Aprender cómo administrar estos datos y explotarlos para extraer modelos computacionalmente manejables de funciones celulares es el desafío clave para la comprensión cuantitativa de las células.

Estos autores atraen la atención al hecho de que “el conocimiento detallado de la **estructura de las células** es un prerrequisito para el entendimiento cuantitativo de las **funciones celulares**. Los matemáticos juegan un papel importante en caracterizar la arquitectura intracelular”. (*NRCNA Op. cit.* 55). Dicho documento indica cómo direcciones futuras de investigación deberán considerar que: “el énfasis en la biología celular está cambiando de descripciones fenomenológicas a modelos predictivos que son consistentes con la gran cantidad de datos posibles”. (*NRCNA Íbidem:* 72)

Por otra parte se han revisado algunos sitios de Internet, como la galería de imágenes de células que aparece en el buscador Google, en la que se muestra que no sólo son bellas por las formas, sino por los colores que se emplean para destacar algunas estructuras celulares. Se han encontrado algunos simuladores, de descarga pagada por el usuario, o de descarga gratuita, otros. Pero en ambos se tendría que hacer una selección porque a veces no tienen la calidad suficiente o están excedidos para el nivel bachillerato, por lo que habrá que generarlos, idealmente desde una perspectiva multidisciplinaria. (Ver figuras 1.1 y 1.2).

Asimismo, dentro de los documentos pertenecientes al nivel licenciatura está el de Verhoeff, Warloo y Boersma (2008:544), quienes emplearon: observaciones en el salón de clases, entrevistas y discusiones audio – grabadas; se analiza el papel del

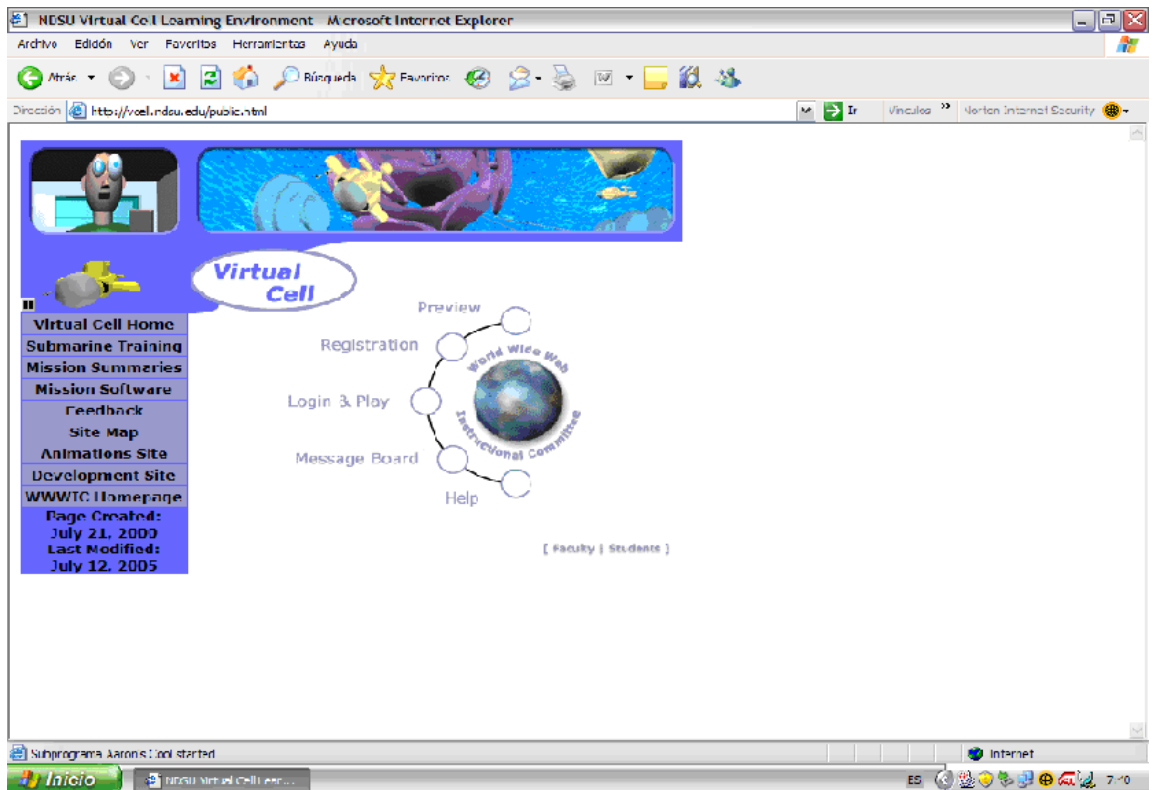


Figura 1.1 Sitio virtual al que se suscribe, pero el acceso es restringido, se paga por la descarga de archivos. Un sitio útil para el aprendizaje de la estructura celular, disponible en <http://vcell.ndsu.edu/public.html>



Figura 1.2 Sitio virtual de código abierto para el aprendizaje de la estructura celular, se pueden descargar videos, esquemas, e imágenes entre otros. Disponible en <http://www.cellsalive.com>

modelado de sistemas para dicho nivel educativo. Estos autores citan a Gilbert (1993):

El empleo de modelos es esencial porque, en biología, estructuras y procesos en distintos niveles de organización biológica son a menudo resumidos en modelos. Especialmente en el nivel molecular y celular, los modelos son usados para habilitar aspectos de un sistema, los cuales son complejos o no perceptibles directamente, para ser vueltos más fácilmente visibles. Además, los modelos son herramientas potencialmente valiosas de aprendizaje y enseñanza para desarrollar una manera científica de pensamiento.

Cabe mencionar que hay dos conceptos centrales en el texto de Verhoeff, Warloo y Boersma (*Op. cit.* 2008:547), la coherencia horizontal y vertical en el estudio de la célula. Tres son los aspectos más importantes que señalan los autores anteriormente citados, sobre la competencia de sistemas de pensamiento con enfoque sobre el nivel celular:

...los estudiantes deberían poder: (1) distinguir los distintos niveles de organización biológica (p. Ej., célula, órgano, y organismo), e igualar conceptos biológicos a sus niveles específicos de organización biológica; (2) interrelacionar los conceptos de la biología celular en el nivel celular de organización (al cual nos referimos también como coherencia horizontal); e (3) interrelacionar los conceptos de biología celular con conceptos en los niveles más altos de organización (o coherencia vertical)". (Traducción libre de Verhoeff, Warloo y Boersma *Op. cit.*).³

Particularmente, hay un interés en este trabajo por acercar a los estudiantes a lo que dichos autores denominan coherencia horizontal. Un punto muy rescatable del mencionado trabajo es que utilizaron distintas actividades dentro de una estrategia llamada LT, en las que se incluían: observaciones de ejemplares de células vivas en el microscopio, estudio de micrografías electrónicas, modelos de sus libros de texto, de otros libros de Biología e Internet, para culminar en un modelo tridimensional de un organelo celular, que fue desarrollado por ellos, lo cual es muy importante desde la didáctica y la tecnología. Porque esta es la mejor manera de apropiarse de conocimiento, desde una concepción dinámica y tridimensional de la estructura celular, mediante la ayuda de las distintas herramientas tecnológicas con lo que están adquiriendo habilidades sobre su uso en el aprendizaje.

³ "...students should be able to: (1) distinguish different levels of biological organization (i.e., cell, organ, and organism), and match biological concepts to specific levels of biological organization; (2) interrelate the cell biology concepts at the cellular level of organization (which we also refer to as horizontal coherence); and (3) interrelate the cell biology concepts at higher levels of organization (or vertical coherence)".

Dentro del nivel licenciatura, el trabajo de León y Flores (1994:5) explicita el problema de la enseñanza de la célula como un conocimiento que se enseña tradicionalmente, en el nivel superior y medio superior, como fragmentado o aislado, es como si entre los organelos subcelulares no hubiera ninguna relación de ningún tipo o ésta fuera de tipo mecánico. Es interesante porque aún cuando está muy cercano a la disciplina, los autores enfatizan el hecho de que a lo largo del desarrollo de la biología celular,

...para un mismo fenómeno existen interpretaciones diferentes e incluso contradictorias, que deberán ser consideradas como elementos de juicio, como meras hipótesis de trabajo o modelos, de manera que cada alumno podrá, sobre la base de su criterio y sus propios antecedentes, elegir entre las opciones e incluso ser capaz de proponer alternativas diferentes con bases lógicas y argumentos sólidos.

Dichos autores proponen respecto a las semejanzas y diferencias entre los principales niveles de complejidad celular que:

...es recomendable que en lugar de la descripción de los componentes aislados de una célula, el estudio se realice con base en fenómenos celulares, como por ejemplo los procesos de comunicación celular... como modelos que permitan establecer la relación denominada estructura/función, en la que se incluyen diversas partes.

En el nivel de bachillerato, Cook, Carter y Wiebe (2008) desarrollan una investigación en la que triangulan: el rastreo visual, las entrevistas y los cuestionarios para la comprensión de gráficas de transporte celular. Se establece una relación de conocimiento previo alto y bajo en su interpretación del mencionado fenómeno celular. Puede decirse que dicho trabajo está más enfocado al funcionamiento de una sola parte en la estructura celular, la membrana plasmática. Mientras que en el presente trabajo se esperaría una articulación o interrelación entre todos los organelos celulares, o al menos algunos de ellos, una concepción holística de la estructura celular.

Otro trabajo interesante es el de Palmero (2003), una reflexión pensada para los estudiantes del nivel secundaria, pero cuyo valor radica en que se interroga a diversos especialistas sobre el concepto actual de la célula (estructura y función). Dichos especialistas, además de biólogos son docentes universitarios. La autora denuncia un aspecto muy importante desde la docencia: "Pero no se está dando respuesta en este momento a la célula como entidad viva". Esta es una preocupación fundamental dentro de la presente investigación, una visión de célula viva, construida por parte de los estudiantes, no como regularmente se aborda, con

ejemplares muertos, teñidos, planos o estáticos, sino todo lo contrario. Una estrategia bien pensada donde se utilicen ejemplares vivos que sean observados mediante preparaciones frescas, videos en tiempo real aun cuando tengan que observarse mediante aparatos diseñados para tal fin.

La autora nos advierte que particularmente para los estudiantes la célula es “un contenido cargado de un alto grado de abstracción y complejidad para los mismos a partir del que deben generar su aprendizaje; una entidad que es física, real, que existe en el mundo físico pero que ellos no pueden ver ni verificar” (Palmero, 2003:41). Aunque cabría mencionar que con el uso de aparatos como los microscopios permite la observación de células, además existen células macroscópicas como las semillas de sandía, las yemas de los huevos de cualquier ave, que son visibles macroscópicamente.

También en el nivel secundaria Sánchez y Escudero (2002) estudian la resolución de problemas en doce libros de texto de biología. Establecen dos categorías de análisis: El **nivel de formulación** o definición del problema y el lenguaje en el que se expresa la solución al mismo. En el nivel de formulación distinguen entre: lenguaje textual, textual con gráfico y gráfico con pregunta; mientras que para el lenguaje en que se expresa la solución, emplean: cualitativo, cuantitativo y formal. Encuentran libros donde el contenido se mantiene “puro” mientras que son menos los que plantean situaciones integradoras o interdisciplinarias. La crítica que se hace a los libros de texto, es que en general son poco versátiles, “e incorporan poco los avances de la didáctica y de la investigación educativa”.

La propuesta de dichos autores es “no existe un tipo de libro “bueno” que valga para todas las situaciones, de modo de diseñar ambientes de aprendizaje que promuevan la construcción del conocimiento, poniendo a los alumnos y las alumnas en situación de resolver lo que llamamos problemas auténticos, contextualizados con la vida cotidiana”. (Sánchez y Escudero 2002:29).

Por otra parte, en el mismo nivel educativo, Berdichevsky (2006), en su tesis profesional de Biólogo de la Facultad de Ciencias de la UNAM, dedica su trabajo de investigación al papel que juega la imagen en los libros de texto del nivel secundaria,

en la comprensión de la célula. En el mencionado trabajo no solamente se abordan los aspectos psicológicos de la **cognición visual**, sino también algunas implicaciones desde el valor del contenido en Biología celular. La autora se percata de la escasa investigación sobre el procesamiento y diseño del texto, así como del valor potencial de las imágenes para facilitar el aprendizaje de las ciencias (Mayer, et al. 1995; Holliday, 2001). Esta investigación comparte dicha inquietud, es este punto donde estaría fijada la mirada de este trabajo, esclarecer si las imágenes tienen un valor didáctico en el aprendizaje de la estructura celular.

Además, Bedichevsky, 2006 detalla cómo en los libros de texto de nivel secundaria hay errores conceptuales y de las mismas representaciones de la estructura celular. Por ejemplo, en los errores conceptuales menciona que los textos muestran la envoltura nuclear representada como una sola membrana, cuando en realidad es una doble membrana. Analiza también cuál es el contenido biológico de las ilustraciones, si éste está presente en el texto principal, los rótulos y las etiquetas verbales y si hay correspondencia entre ambos.

Dentro de los errores que encuentra menciona que en el 100% de los libros de texto investigados, los cloroplastos aparecen todos de color verde, cuando son translúcidos y lo único que debería tener color verde son las membranas tilacoidales, donde se encuentran las clorofilas. Señala además que las mitocondrias y cloroplastos se muestran de formas arriñonadas, omitiendo que dependiendo del tipo celular, podrían adoptar otras formas. Las proporciones de algunos organelos celulares con respecto al núcleo son erróneas. Otro aspecto es que además de los errores conceptuales, encuentra equivocaciones en rótulos, leyendas e inclusive en etiquetas verbales, cuando esperaríamos que hubiera cierta coherencia entre ellas.

Cuatro libros que han sido fundamentales en alguna parte de la construcción del estado del arte en el aspecto didáctico, son: “Educatrónica”, de Ruíz-Velasco (2007), “Didáctica de la Biología Aportes a su desarrollo” de lafrancesco (2005), de Liguori y Noste (2005) “Didáctica de las Ciencias Naturales: enseñar ciencias naturales: enseñar a enseñar ciencias naturales” y “Aprender con imágenes: Incidencia y uso de la imagen en las estrategias de aprendizaje”, de Pró (2003).

1.2 Complejidad del problema

1.2.1 Lo deseable en una biología maravillosa

Es indispensable desarrollar en los estudiantes de bachillerato el gusto o placer por la biología, particularmente en el momento actual donde cada vez la matriz de ingreso a la Carrera de Biólogo se reduce cada año y la eficiencia terminal presenta problemas. Como lo comentan Álvarez, *et al* (2007:4) “En la UNAM se reporta una diferencia importante entre los egresados de diversas carreras y sus índices de titulación anual, como puede observarse en los Anuarios Estadísticos de 1997 a 2006 que publica esta casa de estudios”.

En ese sentido, aunado al contexto institucional, Esquirol (2006: 28) nos dice: “El primer paso para orientarse o para cambiar una situación consiste en comprenderla”. Por ello, quiero enfatizar que todas las personas debemos tener algún conocimiento biológico, porque va a afectar tanto nuestro aquí y ahora, como el futuro. Citaré algunos ejemplos donde es necesario para la toma de decisiones cotidiana: ¿Por qué debemos ingerir alimentos ricos en nutrientes? ¿Debemos realizar actividades físicas? ¿Qué ocurre con la cantidad de sal (cloruro de sodio) que ingiero en la dieta?, ¿Debo consumir bebidas saborizadas que contengan aspartame? ¿Cuál es el efecto que produce en nuestro cuerpo la taurina proveniente de distintas bebidas, por ejemplo las energizantes? ¿Sirve de algo entender la biología de hongos, bacterias y virus? ¿El jugo adicionado es mejor que el refrigerado? ¿Puedo hacer algo en contra del cambio climático? ¿Para reducir la contaminación?...

En un artículo sobre las **competencias biológicas** para estudiantes europeos, Potyrała (2008:1) señala que es deseable:

El alargamiento de los conocimientos biológicos y de capacidades indispensables para que el hombre pueda vivir en buena salud, buen funcionamiento, saber apreciar los efectos de las investigaciones científicas, saber distinguir entre las opiniones científicas y pseudocientíficas, participar conscientemente en las discusiones sobre los resultados de investigaciones biológicas.⁴

⁴ Traducción libre del texto de *Katarzyna Potyrała 2008*. Compétences biologiques des élèves à la lumière des normes européennes: “l'étendue des connaissances biologiques et des capacités indispensables à l'homme pour qu'il puisse vivre en bonne santé, bien fonctionner, savoir apprécier les effets des recherches scientifiques, savoir distinguer entre les opinions scientifiques et pseudo-scientifiques, participer consciemment à des discussions sur les résultats des recherches biologiques”. En: <http://www.inrp.fr/Acces/Biennale/7biennale/Contrib/longue/6513.pdf>

Aún cuando este párrafo está pensado para otra realidad, la europea, la propuesta no nos excluye de gozar de dichas capacidades y de los beneficios que deriven de ellas. Además, la formación científica es maravillosa, porque desde una sola dimensión nos sentimos cómodos, manejamos nuestros saberes y prácticas con cierta soltura, “a voluntad”, porque la mirada está dirigida a un punto en particular. Cabe señalar que para los expertos de las áreas científicas, es fácil incorporar o entender nueva información, nuevos artículos e imágenes, entre otros; porque ya tienen un entramado “mental” bien construido, han adquirido la lógica de pensamiento de su disciplina.

Sin embargo, la situación en nuestros salones de clase es distinta, el tener una sola mirada sobre el objeto de estudio, únicamente la formación de una disciplina, nos limita para observar y comprender la riqueza de procesos que ocurren ahí, e inclusive dar cuenta de ellos y transformarlos, por lo que es necesaria una formación pedagógica que tome en cuenta la complejidad del fenómeno educativo para resolver las problemáticas inherentes a nuestra práctica docente cotidiana.

Por ejemplo, algunos profesores asumimos que los estudiantes van a comprender lo que nosotros sabemos, a la misma velocidad, con nuestro vocabulario, o los esquemas de pensamiento propios. Pero curiosamente mi experiencia es que, “saliéndose” un poco de la disciplina, es maravilloso darse cuenta que existen nuevos mundos “intelectuales”, esperando a ser descubiertos, recorridos, mapeados, por los profesores, que pueden estimular nuestra creatividad y que nos pueden guiar en la reflexión docente, sobre nuestros propios procesos, y de cómo la investigación puede ser un apoyo importante para potenciar la docencia, en el sentido de ayudarnos a tomar decisiones informadas, para coadyuvar el aprendizaje de los estudiantes. Incursionar en otros campos de conocimiento nos permite ampliar el horizonte conceptual y metodológico.

Considero que es la disciplina la que dicta en buena medida cómo debería ser enseñada o aprendida. Quiero resaltar que un problema para el aprendizaje de la Biología radica en el tipo de contenido que debe de ser aprehendido, si éste es dinámico y complejo, pero a la vez interesante. Se suma el lenguaje mismo con el que se expresa, porque el estudiante deberá adquirir un aprendizaje significativo y

entender la entramada red de relaciones entre conceptos en su estructura conceptual⁵. En ella, cada tema tiene muchos elementos interconectados a lo largo de un pensamiento multinivel, que atraviesa los niveles: macroscópico, mesoscópico, microscópico y simbólico. No es lo mismo observar algo macroscópico en la naturaleza como un gato o una planta, que hacer abstracciones sobre los genes y los modelos de regulación de los mismos y saber el significado de las palabras que los denominan.

Por si fuera poco, el pensamiento biológico es sintético, toma elementos de la física, de la química, de las matemáticas u otras ciencias, amén de los propios. Otro aspecto de la problemática radica en que los estudiantes deben incursionar en procesos de razonamiento lógico o disciplinario, asimismo comprender aspectos matemáticos del proceso o fenómeno a estudiar, en fin realizar varias abstracciones en diferentes niveles.

Pero es importante recalcar que al adquirir un lenguaje biológico, el estudiante se está apropiando, aún cuando lo haga intuitivamente, de una lógica de pensamiento que en el futuro le permitirá hasta incursionar, con cierta comodidad en otros campos de conocimiento. Pero este aprender un lenguaje, no involucra únicamente al verbal, sino también al visual, icónico o gráfico.

Entonces, un estudiante que entra en contacto por primera vez con una disciplina científica puede encontrar una barrera para su aprendizaje en el mismo lenguaje, no se diga una lógica de pensamiento, desarrollar habilidades para el manejo de aparatos e instrumentos, o la posibilidad de aplicar el conocimiento a la resolución de situaciones concretas. Como se trata de un área de conocimiento relativamente nueva para el estudiante, puede parecerle que los conceptos relativos a un fenómeno, no sean más que una maraña de cosas que con buena voluntad repite, memoriza, pero poco articula, relaciona, entiende o en el mejor de los casos aplica.

⁵ García (2005): utiliza una representación gráfica para establecer relaciones entre los conceptos, denominada **estructura conceptual**, para elaborarla se debe partir de una realidad seleccionada por el maestro, establecer los elementos que juzgue esenciales, eliminar los intrascendentes y elaborar un esquema en el que se muestren: el objeto que se desea estudiar, los conceptos que lo delimiten, la ley o leyes inherentes al mismo, así como: los principios, leyes y teorías que le den sustento, considerando la manera en que éstos se articulan, desde una cierta disciplina, para dar sentido al contenido.

Y no es que carezca de la capacidad para comprender los conceptos, cuando sus propios procesos mentales (de asimilación – acomodación) así como el tiempo lo permitan; entonces requiere que le sean proporcionadas herramientas con las que pueda “visualizar” la información que está presente en su mente o en un texto, e ir estableciendo las relaciones entre dichos conceptos, ordenarlos, jerarquizarlos o interconectarlos. Porque según Köpen (2007:45): visualizar significa “hacer algo visible”.

Uno de los principales problemas al que nos enfrentamos los docentes de biología es, antes de visualizar o entender comportamientos gráficos o matemáticos de los fenómenos naturales, es la falta de un nivel más básico que pudiera sentar las bases para la mejor comprensión de un objeto de estudio, la cual tendría que ver con comprender la estructura espacial del mismo. Esta estructura espacial, propia de las células o de otros objetos de estudio, se entiende como interacción o conexión física, dinámica, de distintas partes. Es decir, sería ilógico pedir a un estudiante que tenga una visión holística de las células, sin antes ir **gradualmente** acercándolo, hacia este concepto complejo y no mostrarlo como algo que se da por definición, sin que tenga que construirlo. O no atender en el a su contexto, su historia o complejidad.

Parte del problema es que los contenidos que tienen que ver con la estructura espacial de la célula involucran la organización coherente de los conceptos dentro de un todo altamente organizado y dinámico, cuya comprensión representa el obstáculo a vencer.

Además, los profesores de distintas áreas sabemos que ciertos temas exigen del estudiante entender y construir conocimiento acerca de fenómenos en escalas espacio - temporales. Este problema al que nos enfrentamos implica que los estudiantes imaginen situaciones donde los fenómenos analizados ocurren en ciertos espacios, por ejemplo a nivel microscópico, o en el tiempo como los procesos, como es el crecimiento o la comunicación celular, de los que normalmente no tienen experiencias previas o algún referente sobre ellos, lo que aumenta la complejidad de la información que deberán procesar y la dificultad para entenderla.

Esto se traduce en un aumento en la carga cognitiva⁶, en el desaliento y frustración por parte de los estudiantes para tratar de comprender los fenómenos. Porque requiere mayor atención, más memoria, así como estrategias y recursos que le apoyen en su aprendizaje.

Lo anterior es fundamental si consideramos la cantidad de información disponible en la Internet, lo cual genera la impresión de que todo está ahí, como dispuesto para ser tomado, sin la crítica, el análisis, la posibilidad de generar algo nuevo o diferente de lo ahí presente. Al respecto Castellanos (2004:13) comenta que “La enseñanza basada en la Web, los cursos a distancia, los libros electrónicos y las plataformas interactivas de educación a distancia juegan un papel cada vez más importante en el proceso de aprendizaje”.

Olvidamos que la tecnología inclusive potencia nuestras habilidades mentales, para obtener mayor conocimiento que sea significativo e inclusive gestionar más conocimiento. Entonces, ¿cómo acercar a nuestros alumnos a un objeto de estudio que no les es cercano? ¿Cómo potenciar nuestras clases tomando el diseño de ambientes de aprendizaje? ¿Cómo respetar la autonomía de los estudiantes y atender a sus requerimientos, necesidades o capacidades? ¿Qué habilidades de base tienen y qué otras habilidades pretendemos que desarrollen a partir de nuestra aplicación?

1.2.2 Realidad que se vive en las aulas

Comúnmente los profesores experimentamos la sensación de sentirnos rebasados por la realidad de nuestras aulas, básicamente porque convivimos con grupos numerosos de jóvenes preparatorianos, mixtos, cuyas edades oscilan entre los 15 y 18 años de edad, con una heterogeneidad de historias, de estilos de aprendizaje, de intenciones, de intereses, de creencias, valores, motivación, ideas previas, concepciones erróneas, entre otros.

⁶ La carga cognitiva se refiere a un tipo de intuición que les permite resolver problemas a los científicos, sin necesidad de complicar mucho más la interpretación de un fenómeno, ni de utilizar recursos cognitivos costosos que requieran condiciones especiales para su aplicación. Cfr. Pozo, 2008. “¿Puede la educación científica sustituir el saber cotidiano de los alumnos?” Disponible en <http://www.smf.mx/boletin/2005/Ene-05/Ensenanza.html>

En estos grupos debe establecerse distintos tipos de interacción comunicativa, un profesor – alumno, alumno – profesor, alumno – alumno. Podemos añadir que ciertos programas institucionales son sumamente ambiciosos, requieren de enseñar una carga fuerte de contenidos y frecuentemente los tiempos de los que se dispone, por diversas razones son insuficientes. A veces “dejamos en el tintero” un par de cosas que podrían ampliar, profundizar o enriquecer la visión de nuestros estudiantes interesados en ello y apoyarlos en la comprensión de los temas vistos en clase. Es indispensable ofrecerles la probabilidad de construir de manera autónoma su conocimiento, porque algunos alumnos requieren mayor tiempo o interacción con el conocimiento para aprender o nuestros tiempos de clase son limitados.

Por una parte, algo que parece obvio de mencionar es la resistencia al uso de la tecnología, la cual ha generado diversos prejuicios. A continuación plasmo algunos pensamientos que han externado colegas: “La Tecnología hace más flojos a los alumnos, nunca se va a comparar con la experiencia docente”..., “Los alumnos solamente copian y pegan de Internet y así te presentan los trabajos”, “Los que no toman en cuenta la experiencia docente y pretenden introducir de tajo la tecnología son sólo predicadores”. O los mismos alumnos “¿seguro que esta práctica no la bajó de Internet?”.

A pesar de la problemática citada, puede ocurrir que los mismos estudiantes, por sus intereses personales o la motivación del docente, deseen saber o ampliar más sobre un tema. En ese sentido, la tecnología puede compensar, incrementar o satisfacer todas las carencias que no han sido cubiertas desde el aula, puede ayudar a un estudiante a crecer de manera individual, e inclusive construir conocimiento en comunidad o a través de redes, para crecer juntos académicamente. Existe entonces la posibilidad de mejorar y enriquecer las oportunidades de aprendizaje, que sin ser mágicas, pueden actuar como catalizadoras poderosas de la educación.

Pierre Lévy explica mediante el concepto de *Cibercultura* cómo las comunidades de personas de todo el mundo que tenemos la posibilidad de conectarnos a Internet conformamos un hipertexto gigante en movimiento, una **ecología cognitiva colectiva**, capaz de soñar y pensar dentro de un sistema que se encuentra en

reorganización permanente y donde todos podemos contribuir al crecimiento académico colectivo.

1.2.3 Los jóvenes desde la institución (población meta)

En el texto denominado “Núcleo de conocimientos básicos y formación para bachillerato⁷ de la UNAM”, (CAB, 2002), se establece como meta principal mejorar la calidad de la educación en ese nivel educativo, entre otros aspectos se propone promover nuevas formas de enseñanza, más dinámicas y que estén articuladas con el nivel superior.

Dicho documento señala también que los estudiantes deberán adquirir entre otros: habilidades intelectuales de orden superior como la capacidad de proponer, sostener y criticar ideas. Específicamente, la Biología deberá proporcionar a todas las personas una cultura científica básica necesaria para asumir actitudes críticas y tomar decisiones informadas y responsables sobre su vida, el entorno, así como en el ámbito personal y colectivo.

El tema de Célula viene propuesto para dos niveles: general, para estudiantes de 5º año y propedéutico para los jóvenes que cursan el 6º año de preparatoria. Dentro del nivel general se describe la célula como un sistema biológico y se identifican las estructuras y funciones celulares específicas (organelos celulares). Mientras que en el nivel propedéutico se espera que los alumnos comprendan procesos como: reconocimiento y comunicación celular, transporte de sustancias y uniones celulares entre otros que involucran el funcionamiento celular.

1.2.4 Algunas características de los jóvenes actuales

Dentro del escenario contemporáneo, los jóvenes tienen un acceso rápido a una cuantiosa información, hay otras formas de acceder, compartir, comunicar y generar

⁷ En el Estatuto General de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el título primero, mediante los artículos 4o. y 5o. menciona que la Educación superior que la Universidad imparta, comprenderá entre otros estudios al bachillerato. También que indica que la Universidad otorgará el título de bachiller, a las personas que hallan concluido su ciclo y llenado los requisitos fijados por los reglamentos respectivos (UNAM, 1999:25).

conocimiento y de la manera que un estudiante puede apropiarse de él. En la Internet los estudiantes pueden estar confrontando, ampliando e inclusive cuestionando lo que les mostramos los profesores en las aulas e inclusive ir más allá con la información.

Probablemente, parte de la misión del profesor radique entre otros aspectos, en *enseñarles a buscar, extraer y organizar ese conocimiento para hacer un uso racional del mismo, lograr comunicarlo a otros y convencerlos de su utilidad o importancia*, alfabetización informacional. Sobre todo porque los educadores e investigadores del área de ciencia, prestamos un escaso interés al vehículo de información crecientemente dominante en nuestros jóvenes (“ciberestudiantes” frente a los “libroestudiantes” Carney y Levin 2002, en Perales 2006: 14). Como se muestra en la figura 1.3, a los profesores o generaciones anteriores, nos gustaba recorrer y “acariciar” los libros, a diferencia de las generaciones actuales, quienes tienen además, la posibilidad de explorar nuevos mundos informáticos, descubrir otras formas de navegación virtual, desdibujar las fronteras entre lo real y lo ficticio, establecer redes interactivas en comunidades virtuales y generar nuevos lenguajes.

Dentro del ámbito científico se dispone de herramientas de simulación, que permiten realizar experimentos simbólicos: *In machina* para formular y configurar de nuevo, rompen los límites del carácter abstracto de los modelos vía la imagen tridimensional y ofrecen nuevas perspectivas (Cfr. Lévy, 2004).

Por otra parte, una hipótesis interesante derivada del estudio del crecimiento neuronal es la siguiente: “De manera que sí hay una tendencia definida a que las neuronas adultas crezcan menos que las juveniles. Hay quienes suponen por esta razón que el aprendizaje, o al menos algunas formas de éste, son prerrogativas de los jóvenes” (Aréchiga 2001: 252). De acuerdo con éste autor, las personas que hemos trabajado un poco más con la información, generamos a nivel cerebral una serie de senderos neuronales que nos dan la posibilidad de hacer un uso más eficiente de nuestra memoria, pero a la vez nos van restringiendo la oportunidad de innovar.

Para los profesores puede pasar inadvertido que **la juventud**, a diferencia de otros grupos de edad, es capaz de asombro, porque representa una renovada promesa de originalidad, inmediatez y preserva la espontaneidad de la vida (Jonas, 2004:51). Los

estudiantes de bachillerato en su mayoría se caracterizan por el potencial para ser creativos y frecuentemente están deseosos de expresarse, como vemos en los cibercafés, donde mandan mensajes, música, conversan con varias personas a la vez, inclusive tienen sus sitios para verter sus opiniones.

Por otro lado, cabe señalar que, si existe una responsabilidad auténtica por parte del profesor de bachillerato del cómo quiero que sea el egresado, hay que estar conscientes de que este nivel académico es el “semillero” de los futuros profesionistas, entre los que se encuentran: científicos, humanistas, ciudadanos y tomadores de decisión, quienes conformarán las nuevas sociedades; éste es un privilegio de los profesores de bachillerato, trabajar con jóvenes, situación que a veces por nuestro contexto personal somos incapaces de percibir. Entonces la educación toma un papel central, deberá ayudar a promover aprendizajes significativos⁸ que les permitan de una manera creativa enfrentar los retos que les ofrezca: el mundo, la vida, su práctica profesional, etc.

1.2.5 ¿Cómo se enseña la biología?

lafrancesco (2005: 31) en su libro “Didáctica de la Biología aportes a su desarrollo” denuncia que:

Aún los docentes de biología trabajan definiciones operativas sin profundizar los aspectos físicos, químicos y biológicos de los conceptos, sin plantear o formular las hipótesis naturales que en un principio tienen todas las definiciones que se trabajan en ciencias, producto de la experimentación, el análisis, la argumentación y la conceptualización.

Por otra parte, en la mayoría de los libros de texto del nivel bachillerato, e inclusive en ciertos libros especializados a nivel facultad, se perciben dos situaciones contrarias a la lógica de la disciplina: Una es que la célula se enseña como si fuera plana, fragmentada, estática y como si no existiera u ocurriera nada a nivel de citoplasma, porque no hay

⁸ El concepto de aprendizaje significativo es en el contexto de Ausubel, Novak y Hanesian (2001:48) “La esencia del proceso de aprendizaje significativo reside en que ideas expresadas simbólicamente son relacionadas de modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el alumno ya sabe”.



Figura 1.3 Algunos ejemplos de ciberestudiantes de la Escuela Nacional Preparatoria de los Planteles No. 1 “Gabino Barreda y No. 5 “José Vasconcelos”. Obsérvese la diferencia entre libroestudiante y ciberestudiante de la fotografía superior derecha, lo que realmente cambia entre una y otra es el vehículo de la información, si se trata de un libro o de una computadora. Fotografías: Marco A. Campos Muñoz y Miriam V. Muñoz Cruz

ninguna conexión entre los organelos o regiones celulares que la conforman. Cada organelo celular se muestra con una estructura y función particular, al margen de los demás, sin conexión física o interacción en los procesos celulares, esto puede observarse en los textos desde los años setenta hasta los noventa. Por otra parte, son utilizados diagramas que parecen caricaturas de los mismos, para representarlos, en lugar de emplear micrografías fotónicas o electrónicas, videos de situaciones reales de las células, e ilustraciones científicas que son la manera convencional que emplean los biólogos para observarlos y es el acceso normal a ellos.

Específicamente, la evidente complejidad del tema de célula parece obvia o inexistente, así:

En todos los libros de texto de biología actuales, la comunicación de la célula procede en un sentido unidireccional, donde la señal es recibida por la célula e interpretada para dirigir respuestas celulares. En realidad, los protocolos de comunicación célula – célula no son unidireccionales. Las células pueden recibir y responder a señales extracelulares; de ahí que ellas modifican activamente sus ambientes. Al mismo tiempo, las células están generando y respondiendo a mezclas de señales (*National Research Council, 2005:68*)

Además, conviene destacar una condición, entre otras que pueden propiciar el aprendizaje, es que sea placentero. En ese sentido cabría preguntarse ¿cómo los docentes podemos discriminar entre imágenes seductoras cuya finalidad es decorativa o simplemente para captar o desviar nuestra atención, como las que hay por todas partes, inclusive en los medios de comunicación, los libros de texto, y aquellas destinadas a una función pedagógica o didáctica, particularmente en materias altamente visuales como la biología, las matemáticas o la química entre otras?

En ese sentido, las imágenes bien empleadas podrían cumplir no sólo una función didáctica sino estética (sin perder rigor científico, ser placenteras). Apoyar a la recuperación o recuerdo de información, pero desde el disfrute de bellas imágenes científicas.

Sucede que la enseñanza de las ciencias parece ignorar, al menos en parte, el **pensamiento visual-espacial**, particularmente el papel que juegan las imágenes en el aprendizaje. Por lo tanto, este trabajo pretende mostrar, a través de algunas

opciones tecnológicas y didácticas, basadas principalmente en la construcción de mapas mentales, que las imágenes deberían ser centrales en la práctica educativa cotidiana, porque son la forma convencional de los científicos para modelar, comunicar, intercambiar, sintetizar y construir conocimiento.

Como se verá en capítulos posteriores el uso de las imágenes y texto, al estimular **distintas áreas de la corteza cerebral**, genera la posibilidad de almacenar información en la memoria de largo plazo, ayuda a organizar información espacialmente y temporalmente, como entender estructuras, patrones y procesos, porque ofrece la posibilidad de generar imágenes mentales, que luego cuando los propios procesos de aprendizaje lo permitan ayudará al estudiante a estructurar y comprender fenómenos cada vez más complejos y de mayor profundidad. Otra característica que se comentará posteriormente es que las imágenes disminuyen la carga cognitiva que produce el lenguaje verbal, en términos del procesamiento de la información.

1.3 Planteamiento del problema

El principal problema es la manera inadecuada en que los libros de texto de nivel bachillerato e inclusive algunos libros especializados de licenciatura, así como ciertos profesores de Biología, abordan el concepto de célula, porque apoyan la construcción en sus estudiantes de una célula plana, estática, fragmentada, inerte y mecánica; lo que obstaculiza su aprendizaje desde una perspectiva teórica y práctica, que sería contraria a la mirada actual de la disciplina.

Por otra parte, la presente tesis doctoral da cuenta de cómo podría ser abordado el tema de la estructura celular para su aprendizaje, uno de los temas más confusos para los estudiantes de bachillerato, quienes representan la riqueza potencial de nuestras instituciones; quienes sortean numerosas dificultades para lograr sus fines académicos, pero a la vez son la promesa del futuro, la “sangre nueva” que dará continuidad a todo el sistema universitario. Por ejemplo, en ellos un problema fuerte es la accesibilidad del lenguaje disciplinario o académico, porque no es lo mismo un lenguaje especializado, a uno que al estudiante le interese o le sea familiar, acorde a su propia realidad, por lo mismo más cotidiano.

Porque, para comprender la estructura espacial de una célula viva, entendida como interacción o conexión física, dinámica, de distintas partes dentro de un todo, los estudiantes requieren usar, entre otras cosas, su imaginación, la cual puede estar apoyada en imágenes, simulaciones o videos en tiempo real.

En este trabajo, cuestiono también la manera en que los libros de texto muestran este tema. Por ejemplo en una investigación realizada por Pozer y Roth 2003, en preparatorias de Brasil, se demostró que los maestros y los estudiantes necesitan poner más atención a las posibilidades que ofrecen las fotografías para mejorar el entendimiento de información textual. Quizá las fotografías podrían llegar a ser objeto de discusión, lo cual permitiría a los estudiantes y al maestro desarrollar intuiciones de cómo y qué ven otros cuando miran una fotografía, y cómo la interpretan en el contexto de otras varias fuentes textuales dadas en la página. En la figura 1.4 traducida libremente del artículo de estos autores puede verse como algo muy concreto y perceptible, en la realidad requiere de menor abstracción y la imagen tiene más detalle, mientras que algo no tan concreto como las ecuaciones requieren mayor abstracción por lo que no necesitan mucho detalle.

Independientemente del uso de las imágenes en los libros de texto, hay otro aspecto, igualmente interesante, “Enseñar ciencias implica, entre otros aspectos, establecer puentes de conocimiento, tal como lo expresan los científicos a través de textos, y el conocimiento que pueden construir los alumnos. Para conseguirlo es necesario reelaborar el conocimiento de los científicos de manera que se pueda proponer al alumno en las distintas etapas de los procesos de enseñanza aprendizaje” (Sánchez y Escudero, 2002:20). En ese sentido reelaborar, tal vez no solamente implicaría un cambio de lenguaje verbal (hablado o escrito) de una disciplina, sino la inclusión de lenguaje icónico y gráfico de la misma, con la finalidad de apoyar la construcción de conocimiento científico por parte de los alumnos y acercarlos al objeto de estudio.

Inclusive hay un problema en la manera en que algunos profesores de Biología de bachillerato enseñan el tema. Otro reto al que nos enfrentamos los docentes es, antes de visualizar, o entender comportamientos gráficos o matemáticos, como son los patrones y procesos de los fenómenos naturales, requerimos conocimiento de

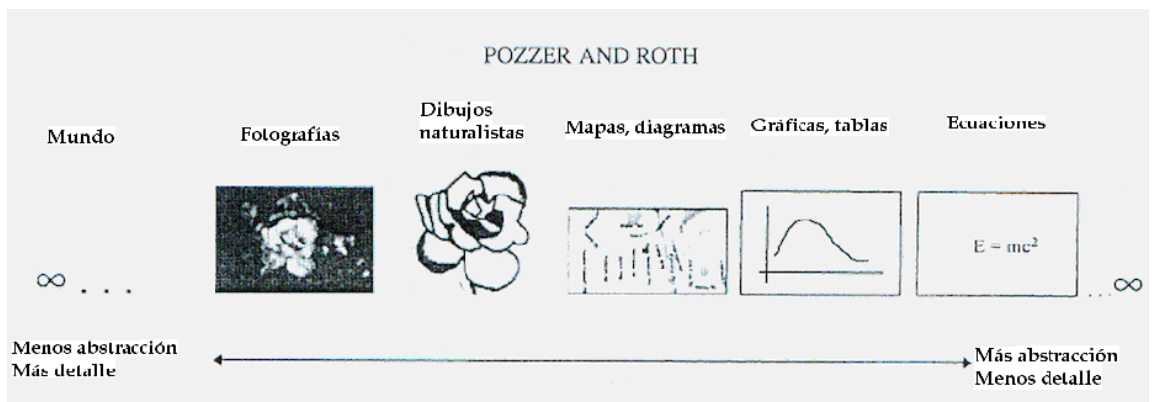


Figura 1.4 Representa el gradiente entre las representaciones visuales concretas y abstractas, que son empleadas en los libros de texto de ciencia, específicamente de Biología para Bachillerato en Brasil. Es evidente la relación inversa entre abstracción e iconicidad, así una figura con mayor iconicidad requiere menor abstracción, a diferencia de las ecuaciones que aparecen en el extremo derecho y que son poco icónicas (Tomado y traducido de Pozzer y Roth, 2003).

base, un nivel esencial que pudiera sentar los fundamentos para la mejor comprensión de un objeto de estudio; a partir del cual articular nuevo conocimiento.

A lo anterior se suma que los profesores de las distintas áreas sabemos que ciertos temas exigen del estudiante entender y construir conocimiento acerca de fenómenos que suceden o se ubican en escalas espacio – temporales que en ciertas circunstancias, le son ajenas a su realidad cotidiana, porque usan otras escalas alejadas a su percepción. Es decir, en biología los objetos de estudio son muy diversos, van desde una bacteria, hasta una ballena o un elefante, entre otros.

Ahora bien, dependiendo de cuál sea el objeto de estudio será la escala espacial y temporal que tendrá que ser seleccionada para lograr observarlo o analizarlo, además, en la mayoría de las situaciones será necesario el uso de instrumentos especiales para llevar a cabo tal tarea.

Por ejemplo, si vamos a observar a un insecto, probablemente el área de estudio sea una hoja, una rama o un árbol; tal vez lo estudiemos con una lupa y empleemos unas semanas o días para examinarlo. Sin embargo, si requerimos estudiar a un grupo de primates tal vez tendremos que seguirlos en áreas más extensas por más tiempo, quizá durante meses o años. De manera que todos los objetos de estudio que son perceptibles en nuestra escala espacio – temporal y hasta cierto punto nos son más familiares, porque no requerimos de mayores esfuerzos para observarlos o estudiarlos, pertenecen al mesocosmos. En general podríamos decir que prácticamente requieren pocos aparatos para su estudio.

En otras circunstancias los objetos de estudio son del orden de micras, unidades miles de veces más pequeñas que un milímetro, como la mayoría de las células: las bacterias, los protozoarios, las levaduras, entre otros, por lo que no son perceptibles a simple vista. Dado que ellos se ubican en las escalas del microcosmos, para observarlos requerimos de aparatos especializados como los microscopios fotónicos, electrónicos y diversas técnicas e instrumentos.

Otra posibilidad es que los objetos de estudio pertenezcan a escalas espacio - temporales mayores, propias del macrocosmos. Un ejemplo de ello son las

investigaciones que se hace de cambio climático global que involucran a toda la tierra, el estudio de vida en otros planetas, o la macroevolución. En ellas es evidente que las escalas espaciales son superiores a las que estamos acostumbrados porque utilizan unidades de distancia como años luz; o de tiempo, miles de millones de años, que implicaría al tiempo geológico.

De acuerdo a lo anterior, los estudiantes tienen que imaginar situaciones donde los fenómenos analizados ocurren en ciertos espacios, o suceden en el tiempo como los procesos, donde normalmente no tienen experiencias previas directas o no son fáciles los referentes, con lo que incrementa la complejidad y la dificultad para entenderlos, por lo que aumenta la carga cognitiva y se traduce en el desaliento de los estudiantes para tratar de comprenderlos.

Otros retos que los profesores de biología enfrentan, por citar algunos son: la realidad que se vive cotidianamente en las aulas, la necesidad de que los estudiantes, con base en su conocimiento tomen decisiones informadas sobre su vida, la complejidad y dinamismo del contenido, como lo es la estructura celular que ha de ser mostrada a ellos, la lógica y el lenguaje verbal y visual del que deberán apropiarse, así como el pensamiento biológico multinivel que implica procesos de razonamiento de distinto tipo y también es sintético.

Sin embargo, en la actividad docente cotidiana, la intuición puede ayudarnos a detectar algunas situaciones que nos generan inconformidad, o consideramos que no son las más adecuadas. Por ejemplo, un profesor de biología a nivel bachillerato o superior no debe empezar su clase de célula dibujando una “bolita” en el pizarrón (Cfr. Pacheco, 2004:122); porque genera representaciones erróneas de la misma en sus estudiantes, no sólo con relación a la teoría sino también en la práctica.

Los aspectos citados en párrafos anteriores se traducen en que la enseñanza “regular” promueve el aprendizaje de una visión de célula estática, fragmentada, aislada, pero además es poco consciente de que los ejemplares con los que se trabaja en el laboratorio, están muertos, teñidos o inclusive han sido cortados, y como comúnmente le es familiar a un biólogo, a veces le puede parecer obvia esta parte, pero no lo es para sus estudiantes; en ese sentido surge la inquietud de:

...cómo organizar temas que por tradición se han tratado bajo un esquema fraccionado, como el que se usa en algunos de los textos utilizados en los cursos convencionales de Biología Celular..., en los que varios capítulos se refieren a La membrana plasmática, El núcleo celular, El citoesqueleto, etc, como si se tratara de componentes que existen y actúan en forma aislada y sin relación unos con otros. (Cfr. León Cázares y Flores 1994:4).

Esta visión fragmentada es contraria a la actual de célula que es holística desde la mirada de la disciplina. En la que “No hay un sólo modelo de célula hoy. Es una unidad anatómica independiente; lo más pequeño con funcionamiento autónomo...” (Palmero, 2002: 46). “Para entender a las células, uno debe comprender la estructura macromolecular de las células, los modelos espacio – temporales y los mecanismos de las dinámicas celulares, las conexiones entre dinámicas celulares y funciones celulares, y las conexiones entre células y los más altos **niveles de organización**, tales como tejidos y órganos”⁹.

Cabría mencionar que para otros autores como Clegg (2000:20) definen a las células como las unidades básicas de la vida, o las unidades que muestran todas las funciones de todos los seres vivos. Quiero señalar que no es fácil definir el concepto de célula de una manera holística, porque también podrían considerarse como las unidades estructurales esenciales de los seres vivos.

Por otro lado, no debemos olvidar que los estudiantes pertenecen a una sociedad altamente visual que los satura de imágenes que a veces son incapaces de decodificar, pero que finalmente es el vehículo de información con el que están más familiarizados. Así, cuando un estudiante requiera comprender un cierto contenido, que en primera instancia puede parecerle inarticulado o complejo, necesita le sean proporcionadas herramientas donde “visualizar” su información, plasmarla en un papel o en computadora y establecer las relaciones entre los conceptos, para ordenarlos u organizarlos, jerarquizarlos o simplemente comprenderlos.

Esta situación no es contraria a la Biología e inclusive a otras ciencias; como lo explica Köpen, (2007:38): “un artículo científico moderno intenta presentar los resultados mediante una mezcla óptima de texto, cuadros y gráficos para una fácil

⁹ *Nacional Research Council*. 2005. Chapter 4: “Understanding Cells”. Mathematics and Biology 21st Century. The National Academies Press. Pages: 51-72

extracción cognitiva de la información y por lo tanto sostiene que no es posible analizar texto y gráficas por separado sino que forman un todo integrado”.

Para cerrar este apartado hay una serie de preguntas que ayudan a concretar el problema: ¿Cómo acercar a nuestros estudiantes a que perciban un cierto objeto de estudio que no les es cercano? ¿Cómo potenciar nuestras clases tomando como referente los mapas mentales u otras representaciones gráficas de información, o del pensamiento, como el software disponible, o el papel? ¿Son opciones viables? ¿Cómo apoyar a nuestros estudiantes a hacer uso racional o inteligente de la información, desde una mirada pedagógica? ¿Cómo respetar la autonomía de los estudiantes y atender a sus requerimientos, necesidades o capacidades? ¿Qué habilidades de base tienen y qué otras habilidades de pensamiento pretendemos que desarrollen?

1.4 Preguntas de investigación

¿Es posible que la representación o el modelado a través de mapas mentales (en papel o computadora), ayuden al interesado a apropiarse de las relaciones entre conceptos, sobre todo en fenómenos de escalas espaciales y temporales, que le son ajenas, como los que suceden a nivel de los organelos celulares?

¿Podría la visualización de imágenes mediante mapas mentales, en papel o computadora, servir como herramienta de análisis, organización y construcción de conocimiento en el concepto de célula?

¿Cuáles son las relaciones entre imaginación, imagen, percepción y aprendizaje?

1.5 Objetivo

Elaborar una propuesta pedagógica de diseño de un entorno de aprendizaje¹⁰ virtual,

¹⁰ Un entorno rico de aprendizaje es aquel que: permite la construcción de conocimientos, favorece la constante interacción del usuario con el mundo real, propicia la valoración y la reflexión sobre los propios modelos mentales del usuario...” Ruíz - Velasco, 2007 Educatrónica, p 70.

visual, cognitivamente rico, donde las opciones que se ofrezcan al usuario sean previamente seleccionadas, que contenga las bases pedagógicas para que un usuario pueda construir un concepto de célula viva, dinámico, holístico que involucre la estructura celular dentro de un todo articulado, mediante el uso de los mapas mentales y otras herramientas digitales de organización de la información (Inspiration©, Eve©, Visual mind©) para la construcción de imágenes mentales visuales que sean perceptibles gráficamente basadas en: imágenes, modelos y simulaciones digitales.

1. Esclarecer los procesos por los cuales los individuos tratan la información proveniente de textos, hipertextos o cualquier otro espacio de información, en la construcción de representaciones mentales visuales que les permitan articular la información de manera integral, vía el enfoque de la imaginación mental, desde la imaginación y el lenguaje, con el apoyo de herramientas de organización de la información como los mapas mentales o el modelado dinámico por computadora.
2. Utilizar dichas herramientas digitales en apoyar las representaciones gráficas y el modelado del pensamiento para potenciarlo y lograr que el aprendizaje de la estructura de la célula sea significativo.

1.6 Hipótesis

El uso de las imágenes, modelos y simulaciones (diseñadas o seleccionadas) permite a un estudiante generar imágenes mentales visuales que pueden ser representadas gráficamente, icónicamente o por computadora, lo que le permitirá comprender la estructura y funcionamiento de una célula viva, para posteriormente tener un acercamiento con fenómenos de mayor complejidad o profundidad, como reconocimiento y comunicación celular (Ver figura 1.5).

Las representaciones gráficas o representaciones externas (mapas mentales), en papel o por computadora, **son un apoyo importante** en la organización de la información espacial de la célula, porque al interesado le facilitan la construcción de una visión de campo más amplia, comprender la

estructura espacial, estimular la imaginación e inclusive gestionar conocimiento.

Los estudiantes que apoyen sus representaciones mentales en las tecnologías antes mencionadas, **harán un uso más eficiente de los conceptos** por lo que probablemente estos permanezcan durante más tiempo en sus mentes y les apoyen a desarrollar procesos mentales más complejos o abstractos, comprender aspectos de mayor profundidad y tomar decisiones informadas. Por lo que las funciones derivadas de la imagen son retención y abstracción.

Hipótesis negativa: La falta de organización de los conceptos por parte del interesado, estudiante o profesor, sin el apoyo de los mapas mentales u otra herramienta de organización de la información impide o complica la apropiación de temas de mayor complejidad, dificulta lograr la profundidad deseada o incrementa el tiempo para lograr una buena comprensión.

1.7 Supuestos

He observado, en personas de distintas áreas, que para apropiarse de un contenido o de un concepto utilizan distintas formas para representar mentalmente el conocimiento; algunos lo hacen de manera gráfica o visual, mientras que otros usan las proposiciones o las palabras, según su estilo de aprendizaje. Es decir, cotidianamente las personas emplean símbolos¹¹ para relacionar o interconectar información. Puede decirse que para expresar, manejar, recordar o simplemente entender la información, debemos representarla en nuestros procesos de pensamiento. Esta organización de la información es fácil si está plasmada gráficamente sobre un papel o una pantalla de computadora. Y podría ser el punto de partida para procesos mentales más abstractos o complejos. Para este estudio, se supone que al menos una parte de lo que está ocurriendo en el pensamiento, en términos de los esquemas mentales, o de las ideas de una persona, son susceptibles

¹¹ Bruner (1989:122) reconoce tres tipos de representación, La representación en activo, icónica y simbólica, la primera representación permite conocer algo por medio de la acción, la segunda a través de un dibujo o una imagen, mientras que la tercera utiliza formas simbólicas como el lenguaje, depende de un dominio dentro de un código.



Figura 1.5 Resumen de la hipótesis de este trabajo de investigación, como proceso. IMV significa Imaginería mental visual. Es notable como los sujetos realizan procesos mentales de representación que pueden suceder internamente en su capacidad de imaginación, pero que pueden estar siendo apoyados en el proceso por representaciones externas.

de ser plasmados o representados gráficamente a través de mapas mentales y estructuras conceptuales¹², los cuales permiten visualizar los modelos mentales que ayudan a organizar la información, para recordarla, o trabajar con ella.

De la misma forma, se acepta que las imágenes son una alternativa para entender o recordar un concepto. Ellas podrían contribuir a procesar la información para que ésta pueda permanecer en nuestra memoria, durante más tiempo y luego trabajar o aplicarla a alguna situación concreta.

Se asume también que mientras otras áreas del conocimiento requieren un mayor apoyo en representaciones verbales o de proposiciones como sucede con la mayoría de las materias de las humanidades, por ejemplo la literatura, la cual crea las condiciones para otros procesos de pensamiento; a diferencia de ella, la biología al igual que otras disciplinas científicas, como la química o la física, es muy visual.

Por otra parte, se está consciente de la existencia de otro tipo de procesos más abstractos que requieren de un análisis proposicional, donde participan la sintáctica y la semántica, que es característico de un pensamiento abstracto, complejo y que requiere un trabajo cognitivo mayor, en términos de los procesos de pensamiento. Por las características del público al que está dirigido este trabajo, se asume como alternativa más viable la imaginación mental a través de la representación mental visual y la simulación mental por computadora.

1.8 Límites o fronteras de la investigación

Como se reconoce la limitación de tener acceso y comprensión, a nivel cognitivo, de absolutamente todo el conocimiento, este trabajo va a hacer un énfasis mayor en un tipo de **conocimiento** que Zongmin (2006) denomina **estructural**, referido a las entidades, conceptos, objetos y cómo se relacionan entre ellos, por ejemplo:

¹² "El primer paso para que realiza el maestro para que el Sujeto (alumno) se apropie del objeto (contenido) es la elaboración de la estructura conceptual". Habrá que acotar un sector de la realidad a estudiar, establecer el concepto central y con cuales está conectado, los secundarios y recurrentes, los principios y filosofías. Delimitados en espacio tiempo. Ofrece tres niveles de dificultad al que las elabora: Representación del objeto en espacio y tiempo, una Epistemología donde precisar leyes o principios y el Metaconocimiento la posibilidad de diferenciar entre teorías, conceptos y categorías (Cfr. García, 2005)

jerárquicamente. Sin embargo, va a profundizar menos en términos de formas de pensamiento más abstractas como las ecuaciones matemáticas o las leyes de la física, que requieren menos de la imagen y más de la abstracción y del uso de los símbolos para resumir y plasmar mayor cantidad de información. Aún cuando las simulaciones podrían iniciar el camino para apoyar a la comprensión de esos temas.

Por otra parte, según la teoría de razonamiento de modelos mentales (Johnson – Laird, 1983), el razonamiento humano está más interesado en las condiciones de verdad en el mundo (semántica) que sobre la forma lógica (sintaxis). Por lo que probablemente este trabajo se refiera solamente a las condiciones de verdad, más que de lógica.

Es necesario mencionar que sólo se abordarán representaciones de tipo gráfico, no se pretende hacer un análisis lingüístico de los conceptos, desde aspectos sintácticos o semánticos. Por lo que la mayor parte de este texto abordará **únicamente aspectos de imaginería mental visual**. Poco se abordará la imaginería visual verbal, por la complejidad y el nivel de abstracción que ella requiere y porque está dirigido a estudiantes de bachillerato.

Por ello se emplearán o promoverán imágenes con características especiales como *soporte* a una parte del pensamiento. Así que no se hablará de todo el cerebro, sino únicamente de aquellas áreas que tengan que ver o participen en procesos relativos a la imagen, o a la imaginería visual mental. Esto es, se hará referencia a la corteza cerebral, en especial a las áreas visuales que son estimuladas durante dicha imaginería como los lóbulos: frontal, temporal, occipital y el hipocampo, así como en la materia gris y blanca.

Asimismo, por las características de este estudio, expreso que de ninguna manera es intención de este trabajo de tesis definir a los jóvenes, sólo se muestran algunas de las características más evidentes que actualmente ellos poseen y que han sido detectadas durante mi experiencia docente, pero que pueden ser de utilidad para la comprensión del proceso de aprendizaje, desde el enfoque de la tecnología y la didáctica de un contenido dado, como es la estructura celular.

Por otra parte, una limitación de la que estoy consciente es: que la realidad biológica no está exenta de complejidad, lo cual hace difícil tener en cuenta todas las condiciones externas a la hora de realizar una simulación, de diseñar un modelo o una representación, por la cantidad de variables que involucra en distintos niveles y que a veces se tienen que sacrificar para tratar de entender la realidad, pero a lo largo de este trabajo se tendrá presente esta característica.

Cabe mencionar también que los mapas promueven la representación de cierto tipo de conocimiento, pero no el de mayor abstracción. La aplicación de mapas mentales puede volver sustantivo el uso de recursos cognitivos desde la mirada de la tecnología y la didáctica, como un soporte de aquello que se pretende representar o comunicar, y que ayudan a una representación mental visual más integral, que otorga la posibilidad de organizar, jerarquizar, interconectar y sistematizar información. Sin embargo, **son útiles para relaciones jerárquicas o estáticas**, pero no para relaciones dinámicas. Aunque tienden un puente teórico entre la identificación de un problema y su posible solución. Por lo que la simulación podría ser la alternativa para el estudio de relaciones dinámicas: “Scientific knowledge is based on both static and dynamic relationships among concepts”¹³.

Por cuestiones prácticas, de complejidad y de tiempo, se abordan **seis dimensiones** para entender la complejidad del aprendizaje de la biología, sin embargo, creo que debería tratarse desde un número mayor de dimensiones a fin de aproximarse mejor a la realidad del aprendizaje de la biología. Como buen modelo, mientras más dimensiones se incluyeran daría mejor cuenta de la complejidad misma.

1.9 Justificación

La importancia de este trabajo radica en que se aborda el aprendizaje de la estructura celular desde una perspectiva holística, multidimensional. En ese sentido una sola dimensión, la disciplinaria, es insuficiente para resolver los problemas de aprendizaje que comúnmente se presentan o pueden presentarse. Pero este estudio

¹³ Sayafeni Frank & Alberto Cañas. 2006. <http://ihmc.us> CMaps: Institute for Human & Machine Cognition Pensacola FL., USA

no considera únicamente varias dimensiones en el aprendizaje, sino interacciones entre procesos a un nivel superior a ellas, por ejemplo la interacción entre atención, percepción, memoria, imaginación y modelo, con lo que la visión es más integradora y ambiciosa, pero a la vez un poco más realista que la que otorga una sola disciplina.

También considera que todos tenemos derecho a alfabetizarnos biológicamente¹⁴ porque como lo señalan los *National Science Education Standards* de EUA "todos necesitamos ser capaces de implicarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia y la tecnología" (Gil y Vilches, 2006: 2).

Hay que agregar que ahora se viven momentos de una sobreproducción de información que no se había dado anteriormente, de tal manera que Wert (en 1986 en Horton 1995) explica que la información científica se duplica cada 5 años y que de toda la información creada, sólo el 10% o menos se lee. Por ello puede inferirse que está siendo subutilizada, por lo que es fundamental desarrollar nuevas formas para acceder a ella, no naufragar y producir conocimiento, se requiere de una alfabetización tecnológica.

Como lo expresa Sutton (2003): habrá que educar las mentes para hacer cosas de nuevas maneras.

Es por ello que una formación de base para el manejo y dominio de las TIC y su utilización de manera natural, debería asegurar un uso inteligente y racional de estas herramientas, alejadas de toda concepción mágica o absurda. Se debe dotar a los estudiantes de los elementos que les permitan una mejor comprensión de las ventajas, desventajas y límites de la utilización de las TIC en general, y particularmente de la Informática (Ruíz - Velasco 2003:14-15).

Este autor señala que es crucial lograr una **interactividad cognitiva**, una comunicación bidireccional, entre los procesos cognitivos del usuario y la información obtenida a través de los recursos tecnológicos utilizados, para la construcción de sus propios conocimientos y conceptos, en función de sus experiencias, experimentaciones y exploraciones en entornos educativos reales y virtuales. En ese sentido, una de las bondades de esta tesis es que con base en la información

14

Una visión contemporánea sobre la enseñanza de la ciencia expresa la necesidad de alfabetizar científicamente a los ciudadanos, consiste en familiarizar a los estudiantes de biología con el conocimiento, actividades y formas de pensamiento de la comunidad de biólogos, y ayudarles a llegar a ser biológicamente cultos. Como se comenta en algún lugar de esta tesis, algunos autores piensan que esta alfabetización implica también la capacidad para ubicar y comprender información de este tipo y de persuadir a otros de su veracidad.

neurobiológica, psicológica, tecnológica, biológica, didáctica y ética hay una expectativa fuerte en el uso de imágenes con fines educativos, mnemotécnicos, para organizar y comprender información, inclusive para generar conocimiento.

En palabras de Lévy (2004:67): "...todo pensamiento, incluso el más abstracto, presupone posiblemente el soporte de una imagen... el progreso consiste en visualizar lo microscópico o lo lejano, en hacer diáfana la materia opaca, en esquematizar la inextricable complejidad de los procesos, en poner en imagen la abstracción de los modelos mentales, en dominar por medio de mapas los territorios más extensos". Por otro lado, es indispensable señalar que el valor del estudio de la estructura celular se refleja en el siguiente párrafo propuesto por Karp (1987:4):

La comprensión de las propiedades básicas estructurales y funcionales de la célula proporciona la base esencial para el análisis de los problemas de la fisiología de los órganos de la biología del desarrollo, de la histología o de cualquiera otra área relacionada... la biología celular es de gran importancia en numerosas áreas de investigación médica, ya que se piensa que la mayor parte de las enfermedades humanas y el envejecimiento se deben a alteraciones que implican funciones celulares y moleculares.

Para concluir este capítulo es interesante revisar algunos aspectos planteados por Liguori y Noste (2005:26) desde la **didáctica de la ciencia**, por ejemplo la visión actual de la **alfabetización científica** implica que el docente: incentive el interés y curiosidad del alumno hacia las ciencias, seleccione contenidos significativos que estimulen la comprensión, apoye al pensamiento creativo y divergente*, y favorezca que un estudiante asuma una postura crítica frente a la información científica proporcionada por los medios.

*Por pensamiento creativo entiendo, una capacidad o un proceso que permite generar cosas nuevas y valiosas para nosotros mismos, o para una colectividad. Su aparición o desarrollo no es casual, requiere mucho trabajo previo para encontrar soluciones creativas y cualquier persona puede ser creativa. Por su parte el pensamiento divergente se refiere la generación de ideas originales que son distintas a la lógica convencional, es probar por otros caminos, o de manera diferente las múltiples posibilidades de lo que podría ser.

CAPÍTULO 2 EL APRENDIZAJE DE LA ESTRUCTURA CÉLULAR UN PROCESO EXTRAORDINARIO Y COMPLEJO

Por qué podemos recordar y revivir con una carcajada una broma que nos hicieron nuestros amigos, ayer o la semana pasada. Cuál es la causa de que dejamos de ver a una persona por un tiempo, tal vez años, y luego logramos reconocerla, pero no pronunciar su nombre. Cómo logramos ubicar, una calle o un sitio a donde debemos llegar sin utilizar un mapa. Por qué sabemos la respuesta “correcta” a un examen, aun cuando hace varios minutos abandonamos el salón de clases. Igualmente, es posible que, si alguien nos pregunta la fórmula química de la sosa o cualquier otra definición de uso cotidiano en el área, logramos recordarla sin necesidad de recurrir a los libros. Todos los anteriores son ejemplos de respuestas o acciones que ejercemos cotidianamente de manera “natural”, o inconsciente, y poco percibimos que involucra nuestra capacidad para imaginar y recordar información.

Por otra parte, independientemente de la corriente educativa con la que nos identifiquemos; al mostrar a nuestros estudiantes: un tema, una unidad o un concepto¹⁵ sea mediante una exposición, un video o la lectura de un texto; algunos profesores creemos que van a apropiarse instantáneamente de lo que les estamos proponiendo, esa información irá directamente a su cerebro y asunto concluido. Asumimos que están dispuestos mental y físicamente al aprendizaje, quizá hasta pensamos que lo harán de la misma manera en que nuestra experiencia nos los permite o nuestros propios esquemas mentales.

Pero, frecuentemente ignoramos la integración de procesos que tendrán que ocurrir, (de manera consciente) en la mente del estudiante y fuera de ella, para que eso realmente suceda. Y no en el sentido de hacerlos actuar con un comportamiento predecible o dirigido, sino de crear u ofrecerles escenarios o ambientes de aprendizaje¹⁶, donde respetando su autonomía ellos sean capaces de tomar

¹⁵ Concepto son unidades de significado, bloques con los que está construido el discurso racional. Cfr. Manher y Mario Bunge. 2000. fundamentos de Biofilosofía. Siglo XXI Editores, México, 412 págs.

¹⁶ Ambiente de aprendizaje: “...una de las metáforas clave asociadas con la enseñanza aprendizaje a través de las nuevas telecomunicaciones y tecnologías de computadoras en red (Kuboni 1999 en Athabasca).”

decisiones, quizá mejor informadas o pensadas. Nos hemos percatado en páginas previas, que aprender biología, al igual que otros temas que requieren de un poco de imaginación, implica un proceso complejo; así que para lograr una aplicación tecnológica viable, se requiere diseñar escenarios tecnológico - didácticos posibles, a fin de apoyar a los estudiantes, en la construcción de conocimiento con ayuda de su imaginación

Cabe aclarar que si tuviera que adoptar una teoría de aprendizaje, este estudio estaría enmarcado dentro del construccionismo; como lo explica Ruíz - Velasco (2007: 62): “Papert atribuye que el mejor aprendizaje deriva de ofrecer oportunidades óptimas para que el educando construya (con el material para la construcción) su propio conocimiento. Es decir, él piensa que los educandos cuando aprender están involucrados en dos tipos de construcción: la del mundo interno (en sus mentes) y la del mundo externo (el entorno). De esa manera se genera más conocimiento”.

En ese entendido, este capítulo mostrará que conceptos como el aprendizaje, la percepción, la representación, la memoria, la imaginación y el modelo, son fundamentales para aprender la estructura celular, porque permiten, a los educadores e investigadores, dar cuenta que tal realidad educativa no puede ser simplificada, ni comprendida a la luz de una sola disciplina, sino que requiere de la integración de varios procesos, entendidos como distintas dimensiones para este estudio. Dichas dimensiones serán examinadas en la segunda parte de éste capítulo. Además ayudarán a dar elementos para comprenderla y tal vez responder a ciertas preguntas: ¿Cómo se incorpora lo nuevo en la memoria? ¿De qué manera recuperas lo aprendido? Entre otras.

2.1 El aprendizaje

El proceso de aprendizaje* es extraordinariamente complejo, razón por la cual puede ser visto a la luz de distintas disciplinas, por ejemplo desde la pedagogía, la biología

*“El aprendizaje, en tanto producto de procesos de conocimiento, es el centro de interés para el desarrollo teórico de distintas disciplinas; podríamos indicar que cada una de ellas generó ya una conceptualización propia de lo que es *aprender*”. Es evidente la proliferación de concepciones que enriquecen y matizan su comprensión (Orozco, 1992:31)

o la psicología. Por lo que actualmente no hay un concepto que defina y de cuenta de su naturaleza y de los numerosos procesos que involucra. Sin embargo, a continuación expresaré algunas definiciones que a mi juicio deben ser tomadas en cuenta a fin de pensar en una concepción más integradora del mencionado concepto.

Por ejemplo, desde la neurobiología, Aréchiga (2001:221) opina que “El aprendizaje parece ser función de la capacidad de las neuronas para modificar sus interconexiones, sea estableciendo nuevas o reforzando las ya existentes”. Pero, autores como Purves (*et al*/2001:6) señalan que el “Aprendizaje es el nombre dado al proceso por el cual información nueva es adquirida por el sistema nervioso y memoria para el mecanismo de almacenamiento y/o recuperación de esa información”.

En cambio, Pizarro (2003:169) propone que “El aprendizaje es siempre un proceso de “adquisición” por el que se incorporan nuevos conocimientos y/o nuevas conductas y las formas de relacionarse al ambiente”. Esta autora menciona también que durante el aprendizaje se incrementa la síntesis de proteínas y se forman nuevas rutas de comunicación entre las neuronas.

Sin embargo, una definición más adecuada de aprendizaje, desde la mirada pedagógica, fue propuesta por la Dra. Leticia Barba (1969): “el aprendizaje actual tiende a ser activo, porque se basa en la propia naturaleza dinámica del educando; científico, porque se basa en la experimentación y; democrático, porque es socialmente funcional, partiendo del propio individuo”. Cabe mencionar que independientemente de la corriente de aprendizaje con la que estemos identificados ningún aprendizaje es pasivo.

Específicamente, desde la tecnología “el aprendizaje es un proceso interno que es estimulado y canalizado por factores externos, que en este caso puede ser una interfaz” (Ruíz - Velasco, 2007:29).

Por otra parte, Rodríguez (1979:18) afirma que: “La consecución de la conducta afectiva, psicomotriz o cognoscitiva se efectúa mediante un proceso de aprendizaje”.

Se ve en las definiciones anteriores la necesidad de construir un concepto de aprendizaje más robusto e integrador, porque es un concepto extraordinariamente complejo y no por ello, menos interesante.

2.2 La voluntad y la motivación

Se ha comentado que el aprendizaje es un proceso complejo, y una muestra de ello puede verse a través de los conceptos de voluntad y motivación. En mi práctica docente he experimentado ambos. Por ejemplo, cuando un estudiante no tiene voluntad de aprender, es verdaderamente difícil de convencerle. Y también cuando un estudiante está suficientemente motivado, puede llegar muy lejos. En los párrafos siguientes intentaré aproximarme a algunas definiciones, con la convicción de que en la literatura, hay evidencia suficiente para sustentar ambos conceptos.

Al leer sobre estos temas varias cosas atrajeron mi atención, por ejemplo sobre voluntad hay pocos trabajos, mientras que sobre motivación, puedo decir que es un tema actual para la investigación cuyos resultados aparecen en revistas especializadas. Sin embargo, esto podría ser explicado por la **complejidad** misma del concepto. Tal como lo comenta Marina (1997:95) "Es muy probable que exista la voluntad como capacidad de decidir, pero también lo es que la claridad y eficacia de esa decisión, la autonomía de los fines, la perseverancia en mantener la elección y en realizarla, implica la personalidad entera".

El mencionado autor, en su libro "El misterio de la voluntad perdida", analiza una variedad de definiciones sobre la voluntad, así como algunos de los aspectos importantes a considerar en ella; el que tradicionalmente se le asocia con aspectos desagradables de la conducta humana: la disciplina, las normas, la rigidez y la tiranía. O que hay una serie de dogmas asociados a ella como: si es sinónimo de voluntad de poder, o disciplina, un concepto moralizante, o que anula la libertad.

Sin embargo, un ejemplo interesante del concepto de voluntad es el siguiente: "...la voluntad se configura como una capacidad de darse a sí mismo órdenes y como el hábito de obedecer a valores pensados y no sólo a valores sentidos" (Marina, Op. cit.

184). Además nos hace ver que la voluntad, habilidad individual y personal, tiene un origen o es creada por la sociedad.

Para Marina “Algunos autores, sobre todo europeos, comienzan a distinguir entre psicología de la motivación, que estudiaría los procesos de elección y una psicología de la volición que tendría como objeto los procesos de acción y ejecución” (Ibíd. 78).

Los párrafos siguientes los dedicaré a la motivación. Quiero expresar, que ningún aprendizaje tiene lugar al margen de los afectos o cuando menos de los sentimientos, ni puede estar aislado de los estímulos externos.

“La motivación es la fuerza que activa el comportamiento que lo dirige y que subyace a toda tendencia por la supervivencia. Esta definición de motivación reconoce que para alcanzar una meta, las personas deben tener suficiente activación y energía, un objetivo claro, y la capacidad y disposición de emplear su energía durante un lapso lo suficientemente largo como para poder alcanzar esa meta” (Cabrera 2009: 26).

Chi, Yantsui y Treagust (2004) reconocen dos tipos de motivación: “La motivación puede ser extrínseca (por ejemplo la recompensa por una actividad) o intrínseca (por ejemplo el interés en la actividad)”. Estos autores al utilizar programas de cómputo para el aprendizaje de temas biológicos, interpretaron la motivación extrínseca del estudiante como: curiosidad, control, fantasía y desafío.

“Tanto en estímulos externos (desencadenantes) como internos (sensibilizantes) controlan el despertar del comportamiento motivado, de este modo complejo” (Cabrera 2009:30). Entonces los profesores, somos responsables de motivar a nuestros jóvenes (motivación extrínseca o estimulación externa), no solamente de transmitir la alegría que nos produce el conocimiento, sino de ofrecerles retos que sean acordes con sus intereses (motivación intrínseca o estimulación interna), porque de alguna manera los profesores estamos modelando este placer intelectual.

Parece que la capacidad de retener información está íntimamente relacionada con el interés por algún tema, como lo comenta Purves y colaboradores (2001:671): “Aunque pocos pueden alardear la destreza mnemónica de tales individuos talentosos, la capacidad humana para recordar las cosas que nos interesan profundamente – tanto estadísticas de béisbol, tramas de telenovelas, o los detalles de la estructura del cerebro – es sorprendente”.

Curiosamente en otras situaciones que se produce tensión, el cerebro presenta niveles elevados de norepinefrina (noradrenalina), lo que nos permite recordar el momento desagradable, aún en contra de lo que nosotros quisiéramos hacer. El cerebro genera la experiencia y asigna una realidad objetiva a la misma (Cfr. Pizarro 2003: 166-167).

Por otra parte, los docentes no podemos negar el papel que juegan los afectos en el aprendizaje; Siegel (1999 en Pizarro 2003: 184) explica la manera en que nacen los afectos y lo denomina estados emocionales primarios. Sucede en los niños, cuando una persona los cuida, les atiende y se establece una conexión no verbal y se crea un sentido de unión espiritual entre dos personas sólidamente unidas. En ese sentido, las motivaciones son estados internos, en realidad inferencias que se utilizan para explicar la intensidad y dirección de ciertos comportamientos (Papalia, et al, 1987 en Cabrera 2009).

El efecto contrario es la privación sensorial durante la formación del cerebro, lo cual daña el sistema de endorfinas (la ruta química del placer) no hay un desarrollo normal entre cerebro y cerebelo; por lo que se forman circuitos del placer desviados, con lo que se generan comportamientos violentos (Prescot en Pizarro 2003:184). Este aspecto también tendríamos que tenerlo presente al interactuar con los grupos numerosos de estudiantes.

“Esto debe hacer reflexionar a padres y docentes: para lograr el sano desarrollo de estos cerebros no basta una alimentación equilibrada y cuidada, sino que se requiere, con tanta o más urgencia una alimentación afectiva y efectiva cuya carencia adquiere un carácter tan dramático como la falta de pan” (Pizarro 2003:185).

Debido a su influencia sobre la conducta y motivación del estudiante, los resultados afectivos proporcionan información importante acerca de cómo responden personalmente los estudiantes a una experiencia académica dada (Popham, 1994 en Kitchen et al. 2007:1059).

Un aspecto interesante se desarrolló a través de imágenes para el estudio de gráficas de transporte celular, en estudiantes de preparatoria, a decir de Cook, Carter y Wiebe (2008: 240): “Las representaciones visuales pueden atraer la atención y motivar a los estudiantes (Mayer, Bove, Mars y Tapangco, 1996), así como mejorar la retención (Peeck, 1993) y facilitar los vínculos entre conocimiento nuevo y conocimiento existente (Roth, Bowen y Mc Ginn)”

El término motivación está íntimamente relacionado con el autoconocimiento, la autorregulación y la autoeficacia, entre otros. Éste último, se explica porque en los estudiantes puede influir la motivación en el desempeño y la buena disposición para persistir en intentar tareas académicas, especialmente esas que son particularmente desafiantes (Bandura, 2006 en Kitchen, Op. cit.: 1059).

Si estamos conscientes de la motivación y optamos por estimular nuestros sentidos con lo que nos interesa puede ocurrir algo similar a lo siguiente: un alumno al que llamaré “M”, nunca había tocado la guitarra. Así que en la preparatoria, aprendió de su maestro de música a digitar con ambas manos y a leer tablaturas durante un semestre. Al término del curso y después de algunas horas de práctica a la semana, adquirió la habilidad del movimiento de tocar con ambas manos. El profesor había advertido al inicio del curso que eso era lo único que les iba a enseñar y que el resto correría por su cuenta. Curiosamente a “M” le pareció que no había avanzado nada, sin embargo comenzó a ver las tablaturas en Internet y a tratar de tocar esa música. Después, a un año de haber aprendido a digitar y tocar tablaturas, “M”, además de interpretar las canciones de su gusto, estaba componiendo su propia música. Esto implica un esfuerzo del estudiante conjugado con interés personal y puede incrementar la probabilidad de éxito.

Cabe mencionar que en la música, “La visión de un individuo está formada tanto por sus genes como por la manera en que su cerebro ha sido moldeado por la experiencia. Los músicos por ejemplo, suelen tener un 25% más de corteza auditiva destinada a procesar música, lo que sugiere que este exceso se adquiere con la experiencia” (Pizarro 2003: 164)

Con base en lo anterior, algunos estudiantes con un poco de esfuerzo y teniendo interés tiene mayor probabilidad de éxito. La autosatisfacción o el reconocimiento social desempeñan un papel fundamental en el aprendizaje. Así, en una enfermedad llamada de los “idiotas eruditos” (idiots savants), personas que sufrieron daño en su cerebro durante el período prenatal, quedan restringidos en muchas actividades mentales, pero extraordinariamente competentes y mnemónicamente capaces en un dominio particular. Purves et al (2001:670) se preguntan “Si debido a la retroalimentación social o auto – satisfacción, los idiotas eruditos gastan una gran parte de su tiempo mental y energía practicando la habilidad ellos pueden ejercitarse más o menos normalmente”, o tal vez porque es la única que pueden desarrollar. Aunque se trata de una situación especial, en personas sin esas limitaciones se esperaría un potencial mayor. Aquí la pregunta que surge es vía el aprendizaje ¿Aprendemos solamente por autosatisfacción, reconocimiento, necesidad, o habrá otros aspectos?

2.3 La percepción, la atención, la representación, la memoria, la imaginación y el modelo en el aprendizaje de la célula.

En este apartado nos podremos percatar que el aprendizaje, término de uso cotidiano, es extraordinariamente complejo e interesante; pero para abordarlo comúnmente simplificamos elementos, obviamos partes, o simplemente las ignoramos. Pero en realidad se trata de **una interacción de procesos**. Varios de ellos podrían o no estar actuando simultáneamente, e inclusive el **orden** en el que aparece en este apartado tiene la intención de mostrar cómo probablemente están sucediendo en el tiempo.

2.3.1 La percepción

Curiosamente la gran mayoría de las personas cuentan con los órganos especializados para estar registrando las variaciones en nuestro entorno, inclusive muchos de ellos están excedidos en ello, Aréchiga (2001: 124-125) nos explica: “Se ha demostrado que el ojo adaptado a la obscuridad es capaz de detectar unos cuantos (menos de 10) fotones, y que en condiciones extremas puede responder a un solo fotón”. Este autor comenta también que, “... estudios sobre receptores

auditivos, para que el sonido estimule a uno de éstos, basta con una energía capaz de desplazar la membrana del tímpano del oído, ¡una distancia que equivale al diámetro de un átomo de hidrógeno!”.

Aún cuando algunas personas sean distintas en cuanto a sus procesos de percepción¹⁷, es indudable que la mayoría estamos excedidos en ella, esta potencialidad de recibir información de nuestro ambiente. Curiosamente, “Una gran porción de nuestro cerebro se ocupa solamente en el procesamiento de señales visuales para crear una representación de nuestra realidad” Haler (2005 en Buurman, 2005:165).

Lo anterior se traduce en que si no encontramos los resultados de aprendizaje que esperamos, el problema aparentemente no sería neurofisiológico, más bien radica en la manera intentamos mover la voluntad de nuestros estudiantes e interesarlos en el tema para que ellos actúen. Porque algunos de ellos son maduros y conscientes del para qué les va a ser útil un conocimiento, mientras que otros no lo saben; esa es nuestra labor hacer que sus procesos sean conscientes. Lévy (2004:84) lo explica así: “Las personas, las imágenes, las palabras y los conceptos son más o menos estructurantes según la intensidad afectiva que se les dedica”.

Una visión más reciente sobre la percepción implica no solamente que se detecta a través de los sentidos, sino más bien que ésta se construye a partir de evocar experiencias perceptuales y eventos específicos internos. Por ejemplo, desde una mirada constructivista, Haler (2005 en: Burman 2005:165) dice que la “Percepción es nuestra manera de acceso directo al mundo; ello nos permite reconstruir la realidad”.

2.3.2 La atención

Los profesores en algún momento de nuestra actividad nos percatamos de que un elemento esencial para el aprendizaje es la atención. En ese sentido, los seres vivos

¹⁷ Así por ejemplo, la percepción de un paisaje o de un rostro humano se hace en el cerebro.” (Aréchiga 2001:124). Cada persona construye o reconstruye la percepción de manera diferente.

estamos expuestos constantemente a numerosos estímulos provenientes del entorno o de nuestro interior. Por ejemplo, la cantidad de luz que entra por la ventana, o la música que escuchamos mientras trabajamos, admirar una imagen, realizar una lectura, sentir un cambio de temperatura en el ambiente; todo esto está llevando información a nuestro cerebro desde los distintos órganos de los sentidos. Sin embargo, existe alguno que por alguna razón atrae a nuestros sentidos y lo escogemos del resto. “Nuestros cerebros escogen los estímulos a los que atender, cada ser tiene su propia ventana al universo. Nadie conoce la apariencia del mundo real, la versión de cada uno es diferente” (Pizarro, 2003: 167).

En realidad, la cantidad de estímulos es tal, que no podríamos procesar todos los estímulos que ingresan en un cierto momento a nuestros sentidos (entradas), ni responder a todos (salidas) simultáneamente. Entonces, se seleccionan ciertos estímulos o información que ingresa al sistema, para dividir los recursos cognitivos, procesarlos y lograr atenderlos de la mejor manera posible.

De esta manera, “El control de la atención entre uno u otro (vagar o mantenerse atento frente a una tarea) determina qué es lo que será seleccionado o cómo dividir los recursos (cognitivos) o mantener la vigilancia, también implica a la atención; en este caso atención ejecutiva es involucrada en la supervisión de selectividad o asignación de recursos” (Styles 2005:6). Así que conscientemente, la selección atencional es juzgada necesaria porque el resto del sistema de procesamiento no puede tratar todas las entradas de estímulos que ingresan y regresar todas las salidas simultáneamente. Otra visión de Styles (2005) es que “...la atención es un producto del procesamiento que nos permite “conocer” que estamos haciendo, qué “vemos” del objeto de atención”. En ese sentido, la atención como selección del resto de los estímulos sería previa a la percepción.

Puede decirse entonces que la atención es un agente activo que selecciona información de un todo, y deja de lado otros estímulos para procesar la que es pertinente y dar respuesta. Algunos autores coinciden en que primero es la percepción y después es la atención.

Cabe mencionar que existen diversos procesos atencionales, a partir de los que se selecciona información para ser procesada y obtener cierto efecto o respuesta, como la atención para la percepción o para la acción. Styles (2005:5-6) piensa que la atención para la percepción parte de “La selección desde un subgrupo de entradas para promover procesamiento en otra parte del sistema de procesamiento de información...mirar algo para ver qué es”. Así, “...la atención es un producto del procesamiento que nos permite “conocer” que estamos haciendo, qué “vemos” del objeto de atención”.

Mientras que, la atención para la acción se da cuando, una u otra forma de respuesta es requerida para ejecutar algo. Por ejemplo, cuando se toma un teléfono es posible presionar diferentes botones en función de la decisión que se tome. Farah (2004:1314) entiende la atención en un sentido más amplio, incluye el uso activo en la memoria de trabajo, la función ejecutiva y otras formas de autocontrol cognitivo.

A veces puede parecernos que la atención es algo natural, que no debiera ser capturada o promovida. Sin embargo, Pizarro (2003: 162) nos hace ver que:

“Todo parece ser muy fácil: sólo abrimos nuestros ojos y nuestros oídos y dejamos que el mundo entre. Sin embargo, todo lo que vemos, sentimos, olemos o saboreamos requiere que millones de células nerviosas envíen mensajes urgentes, a lo largo de vías que se entrecruzan, y que retroalimenten a los circuitos de nuestros cerebros, llevándose a cabo cálculos intrincados que los científicos sólo han empezado a descifrar. Lo que llama la atención de nuestros sentidos es el cambio, porque ellos están delicadamente afinados al cambio”.

Es interesante señalar que desde la perspectiva psicológica, basada en imagenología, Treisman (en Gazzaniga 2004) señala que como aspectos fundamentales en la atención: el nivel de atención; el método (mejora o suprime el estímulo); los objetivos (ubicaciones, objetos o atributos); el control de la atención y el papel de la atención para resolver el rasgo que aglutina el problema.

2.3.3 La representación

Parfraseando a Díaz *et al.* (2005: 22): La representación interna es entendida como una construcción mental del objeto, elaborada pero inacabada, para manipularlo y

comprenderlo requerimos realizar, a partir de ella una representación externa, que puede ser un mapa, una fotografía, una imagen, entre otras.

Por otra parte, a veces nos parece que la toma de decisiones de nuestros estudiantes en una situación concreta es algo natural, como si no tuviera que estar relacionada previamente con información y formación, o no debiéramos diseñar estrategias para lograrlo y apoyarles para tal efecto. Sin embargo, para un estudiante del bachillerato, es un primer acercamiento a los conceptos científicos, pertenecientes a una disciplina, la Biología, que es el referente u objeto a mostrarles. Pero, además los conceptos deben ser más formales o mejor comprendidos que los que deben de adquirir en el nivel educativo previo, la Secundaria, y prepararlos para la vida profesional.

Así desde mi experiencia docente, considero que una parte del problema es que los **estudiantes no distinguen entre modelo, representación y objeto de estudio**. Por ejemplo, recuerdo que alguna vez un estudiante me preguntó: “Si yo tuviera un microscopio “superpoderoso”, ¿podría ver las “bolitas” de los átomos de carbono? Era evidente que tenía acceso a los modelos moleculares de “bolas y varillas”, de uso frecuente en los libros de texto y en las clases. Dichos modelos se usan para representar los átomos de carbono o de otros elementos químicos. El estudiante no estaba comprendiendo el concepto de átomo o de molécula y a qué nivel de organización estaban ocurriendo. Además en ese momento no se contaba todavía con microscopios de fuerza atómica, como de los que se dispone actualmente para tal fin.

Como se verá en el siguiente apartado, para Díaz (2005:12) el modelo es un “prototipo para ser copiado o emulado, elementos que sirven para demostrar algo...”. Este mismo autor señala que la representación es una construcción mental inacabada, que es la base de los modelos. Cabe recalcar que para Johnson Laird (1983) el modelo mental se refiere a las “habilidades de razonamiento en dominios ricos de conocimiento”.

Particularmente el modelo científico es un símil que implica una comparación de naturaleza simbólica, expresa una semejanza. Hay modelo cuando hay

representación. “El modelo científico no pretende identidades o empalmes de ese tipo (hace referencia a las metáforas), sino comparaciones útiles en las que no hay cambio de sentido. Todo lo contrario: es la comparación precisa, en el contraste, entre el modelo y su referente original, donde reside buena parte del poder explicativo que se pretende” (sic.) (Díaz 2005:13-14).

Así, un ejemplo de cómo la representación que utilizan los libros de texto de bachillerato juega un papel importante en la manera en que el alumno está accediendo al conocimiento es cuando muestran esquemas tridimensionales de la doble hélice del DNA. Al hacer una práctica relativamente sencilla de extracción de DNA a partir de plátano o hígado de pollo o de res, hay alumnos que al observar el proceso, les gustaría ver las bases nitrogenadas o la estructura tridimensional de la doble hélice, que son los esquemas convencionales de los libros, cuando lo más que se aprecia en el laboratorio es un precipitado de color blanco, un poco viscoso y brillante. O bien en el microscopio óptico con el máximo de aumento posible, correspondiente a la lente de 100X, observan una línea similar a una “cadenita” muy delgada, pero nada más. Y los jóvenes me preguntan: ¿Y dónde están las bases nitrogenadas? ¿Y la doble hélice?

De acuerdo con Pozo (1999:514): el “Aprender ciencia es también cambiar el tipo de procesos y representaciones desde los que se abordan los problemas y situaciones a los que nos enfrentamos”. Puede decirse que entonces las representaciones estudiantiles están un poco lejos de las convencionales, o las utilizadas por los científicos, y que el interés tendría que situarse en apoyar a representaciones más finas o elaboradas, para posteriormente acercarse a la construcción de modelos y de representaciones científicas.

Villoro (2004: 63) señala también que la “Representación es la aprehensión de un objeto sin considerar ninguna propensión a responder a él”. “La aprehensión puede ser un proceso de percepción, de imaginación o de memoria: en ese caso, el objeto se presentará en imágenes perceptuales, fantaseadas o mnemotécnicas...”.

Entonces, un primer obstáculo es la manera en que los estudiantes acceden al conocimiento, de qué forma **los conceptos y los objetos** están siendo

representados internamente en su mente, físicamente en los libros o explicados por los profesores en las aulas. Y luego a partir de estas representaciones externas, cómo el estudiante se acerca a ellas y ahora representa mentalmente dicho conocimiento, cómo lo imagina o lo entiende.

En ese sentido: “Una representación mental es una especie de “modelo” que guarda cierta correspondencia con el objeto o evento que pretende representar. Pero la correspondencia puede ocurrir en muchos niveles, ya que todas las propiedades del objeto (o “referente”) no tienen por qué ser representadas”. (Rumelhart y Norman, 1988 en Ortells, 1996:46).

Pero hay que estar conscientes de que el lenguaje mismo de la disciplina puede ser representado de maneras distintas, y demandará del estudiante, algún tipo de representación mental, que le permita manejar o comprender relaciones entre conceptos.

Hemos visto que todo pensamiento, incluso el más abstracto, presupone posiblemente el *soporte de una imagen*. En el campo de las tecnologías intelectuales, el progreso consiste en visualizar lo microscópico o lo lejano, en hacer diáfana la materia opaca, en esquematizar la inextricable complejidad de los procesos, en poner en imagen la abstracción de los modelos mentales, en dominar por medio de mapas los territorios más extensos (Lévy 2004: 67).

Esta invitación de Lévy, muestra que vivimos un doble juego entre las representaciones externas, que podrían ser los mapas, los diagramas o las imágenes, entre otras; y las internas que se denominan representaciones mentales, equivaldrían a “ver con el ojo de la mente”. Cuando tenemos una pregunta, en mente utilizamos representaciones parecidas a dibujos o fotografías, con las cuales “vemos” las propiedades de los objetos. Así “tener una imagen sería como la experiencia de “ver pero con el ojo de la mente” (Ortells ,1986:17).

López (2005, en Díaz 2005:22) nos aclara que: “La representación, es entonces, precisamente, la representación externa del objeto, manufacturada a partir de la representación mental. Esta representación es un objeto artificial en tanto es fabricación o poiesis creativa de un investigador”, o de un estudiante.

Para este estudio se utilizan básicamente dos tipos de representación, analógica y digital. A fin de diferenciarlas, tomaré como ejemplo el concepto del tiempo. En generaciones anteriores, la manera de “dar la hora” consistía sólo en observar la posición de las manecillas en el reloj. Ésta es una representación analógica, porque se basa en una forma pictórica del objeto, el tiempo se expresa de manera continua, pero de manera gráfica, como proceso. Sin embargo, las generaciones actuales solamente observan el cambio de un dígito por otro, por lo que la representación digital es una forma simbólica de representar el objeto y la comprensión del tiempo puede parecer que éste cambia de manera discreta¹⁸.

Este aspecto de la representación en el contexto contemporáneo es visible en la siguiente cita: “Actualmente, estamos viviendo una tercera revolución tecnológica (digital), que ha avanzado desde lo analógico hasta lo digital” (Ruíz - Velasco, 2007: 56). Para este autor, la tecnología analógica nos auxilia en *conservar, reproducir y transportar*, a través de distintos medios la información, pero el usuario es un receptor pasivo; mientras que la tecnología digital nos permite *tratar, transportar y transformar* la información, de una manera que llega a un público mayor, pero además los usuarios son agentes activos.

2.3.4 Memoria

Este término es ampliamente utilizado en el lenguaje cotidiano; comúnmente hemos escuchado: memoria cultural, memoria histórica o memoria de largo plazo. Pero: ¿Cómo incorporamos nueva información a nuestro cerebro? ¿Cómo recuperamos lo que hemos aprendido? ¿Cómo generamos nueva información? o ¿Cómo la aplicamos a situaciones concretas?

Es evidente que dichas preguntas tienen que ver con la memoria, la cual posee su sustrato a nivel neuronal. Así, la memoria no es un registro estático localizado en una neurona, ni en una región, sino en la interacción de conjuntos neuronales (Pizarro 2003: 171). “...es la forma según la cual la experiencia pasada modela el funcionamiento presente y futuro” (*Op. cit.* 169).

¹⁸ Cfr. Mather G. 2006. Chapter 1 “General principles”. Foundations of Perception. Psychology Press, Great Britain. p – 20

Aquí se utilizará el término memoria en el sentido de Purves, *et al.* (2001:665): “Una de las funciones más intrigantes de las complejas funciones del cerebro es la capacidad para almacenar información provista por la experiencia y recuperar mucho de ella a voluntad”. O en el sentido de Aréchiga (2001:211), quien la considera: un componente fundamental del aprendizaje. Sólo podemos decir que aprendimos lo que podemos retener y evocar a voluntad; esta facultad es lo que llamamos memoria.

Aunque otra definición que no sólo hace referencia a su característica de recuerdo, almacenamiento y de recuperación de la información, es la propuesta por Haler (2005, en Buurman, 2005:81) quien dice que: “la Memoria presume un potencial creativo, que es, una manera de actividad teórica y práctica la cual es activa (y está activa) en el presente”. Es necesario resaltar que para lograr identificar la información que representa un objeto, tomada a partir de los datos perceptuales, por el procesamiento atencional, se debe elegir qué representación puede ser capaz de ponerse en contacto con el conocimiento almacenado en el sistema de la memoria (Styles, 2005:7).

Los psicólogos y neurofisiólogos para estudiar la memoria hacen una división importante, atendiendo ya sea a las características de almacenamiento y recuperación, así como al tiempo que permanece y está disponible para ser utilizada. Por ejemplo, atendiendo al **almacenamiento y recuperación** de la información se divide en **memoria declarativa y procedimental**. “La memoria declarativa es la que almacena y recupera información del material que está disponible al conocimiento y que puede ser expresada por el lenguaje” (Purves et al 2001:665). Es una capacidad como recordar un teléfono, una canción o una imagen.

Por otro lado, la memoria procedimental nos habla que “Mucho del procesamiento en el cerebro no está disponible para inspección consciente; está en el inconsciente y procede automáticamente sin requerir ningún proceso atencional” (Styles, 2005:6). Se trata de habilidades y asociaciones inconscientes como conducir una bicicleta o un auto, o golpear una pelota de tenis.

Otra manera de estudiar la memoria es **con relación al tiempo**. Así su definición involucra lo que es recordado. Hay **tres tipos memoria: memoria inmediata, memoria de corto plazo y memoria de largo plazo**. La memoria inmediata se refiere a la capacidad de recordar experiencias por pocos segundos, implica todas las modalidades: visual, verbal o táctil. Mientras la memoria de corto plazo, es la capacidad de sostener la información de segundos a minutos, una vez que el presente ha pasado, lo suficiente para realizar acciones secuenciales. La memoria de largo plazo conlleva la retención de información durante días, semanas, meses e inclusive años¹⁹.

Una manera diferente de clasificar la memoria es la propuesta por Pizarro (2003:177), quien propone que **según la forma en que se elabora la respuesta** una vez producido el proceso de aprendizaje, la divide en: **Memoria motora, memoria sensitiva o perceptiva y memoria central o general**.

La memoria motora tiene que ver con los patrones de respuesta que nos permiten operar en el entorno, mientras que la memoria sensitiva o perceptiva la define como la capacidad de ciertas neuronas para responder a estímulos selectivos. Dentro de ésta se ubica la memoria de representación perceptual, donde se identifican palabras y objetos sobre la base de su forma y estructura. La memoria central o general se refiere a la capacidad de integrar la información de fuentes diferentes, clasificarla, darle significado, almacenarla y evocarla a voluntad.

Una comparación entre nuestra mente y las computadoras es que ella no se colapsa cuando adquiere nuevo conocimiento o se apropia de nuevas relaciones. Es decir la mente es mucho más flexible para incorporar nueva información que algunos de los programas construidos para las computadoras (Fritzsich, 2001: 78 en Chávez, 2001).

¹⁹ Purves y colaboradores (2001): señalan que, además de estas tres categorías, se encuentra la Preparación, como un mecanismo de transferencia de la memoria de corto plazo a la memoria de largo plazo. Tal vez podría entenderse como las estrategias que pueden influir en la manera de actuar o pensar de una persona.

2.3.5 Imaginería o imaginación

Por **imaginería mental** se considera aquí **una capacidad creativa de los sujetos para recordar, emular o recrear fenómenos o procesos que hayan ocurrido**, e inclusive predecir cosas que pueden suceder; es un proceso mental donde las representaciones mentales visuales, pueden ser estimuladas a partir de imágenes o de información, o de interacciones entre agentes cognitivos naturales o artificiales, para entender o cambiar su conocimiento con relación al ambiente espacial.

En general puede decirse que hay objetos de estudio que restringen la manera de ser aprendidos o enseñados por los profesores de nivel bachillerato; por ejemplo en la resolución de ecuaciones para física o matemáticas, hay quienes solamente emplean, conocimientos de álgebra, “papel y lápiz” para resolverlos, porque probablemente así se requiere o así les funciona perfectamente con sus estudiantes.

Sin embargo, hay objetos de estudio más demandantes o complejos, poco cercano o accesibles a nuestra escala de percepción, porque pertenecen a otra escala espacial, como los planetas, las estrellas o las radiaciones solares, que estudian los astrónomos mediante ondas de radio y en distancias de años luz, por lo que no son tan fácilmente manipulables. O en el otro extremo de la percepción son fenómenos que ocurren a escalas microscópicas, submicroscópicas o simbólicas que requieren aparatos sofisticados para estudiarlos, de los microscopios ópticos y una gran diversidad de microscopios electrónicos como sucede con las células, las moléculas y los átomos, entre otros.

Por eso algunos profesores opinan que para ciertas disciplinas científicas como la biología, la química o la física, se requiere una “buena dosis” de imaginación, pero no en el sentido de fantasía, sino como una capacidad creativa en la intelección de fenómenos. Pero qué es la imaginación, “Cuando tú imaginas algo, el conocimiento recuperado es recordado sobre experiencias previas almacenadas en la memoria de largo plazo, para construir algo que podrá ser parecido a si tú realmente estuvieras haciéndolo. Cuando tú imaginas algo, realmente no hay nada “allá afuera”, sólo la imagen que debe estar en tu mente” (Styles 2005: 4).

“Más aún las imágenes y simulaciones mentales pueden proporcionar nuevas ideas e intuiciones sobre la forma de razonar y resolver problemas... las simulaciones imaginadas pueden ser de gran utilidad, evitando el considerable esfuerzo que supone resolver problemas por ensayo y error” (Ortells, 1996:37).

A pesar de que actualmente se cuenta con una inmensidad de técnicas para estudiar el cerebro, como la manipulación de drogas selectiva, la tomografía computarizada (CT), la tomografía de emisión de positrones (PET) o la imagen de resonancia magnética (MRI), y aún cuando desde la neuroética²⁰ sean cuestionables algunos procedimientos, todavía se desconoce la manera precisa en cómo imaginamos.

La forma en cómo el cerebro **genera y procesa imágenes mentales** es todavía motivo de debate. Porque ¿cómo están contruidos los pensamientos? Pensamientos más complejos requieren ligar muchas más proposiciones, unas con otras. Pero cuando esto se translada a la imaginería mental²¹, se pierde el consenso (Grueter 2006:18). Así, si asumimos que es posible la presencia de representaciones externas, y que “consisten de elementos y de relaciones espaciales entre ellos”, Tversky 2005:16 (en Priti & Miyake, 2005), menciona que, dichos elementos son parecidos a las cosas que pretenden representar; así “El espacio de las representaciones externas de fotos, mapas, cartas y diagramas; sirve como ayuda cognitiva a la memoria y al procesamiento de información...”. Pero además, es inventado o creado para incrementar la cognición humana.

Por otra parte, cabe mencionar que Ortells (1996:26) tomando como referente a Aristóteles quién afirmó que el pensamiento era imposible sin las imágenes explica que “En general, los filósofos no dudaban de la existencia de las representaciones

²⁰ La neuroética es una disciplina encargada de estudiar los asuntos de las neurociencias, cuestiona el uso que se da a la información proveniente de estudios donde se altera la función del cerebro. Para mayor información consultar el capítulo 94 Bioethical Issues in Cognitive Neurosciences de Martha Farah en: Gazzaniga, 2004. The cognitive neurosciences. Bradford/MIT.

²¹ Según Ganis (2004: 931) la imaginería mental visual es fundamental en la cognición humana que ocurre en ausencia de estímulos visuales externos, y que permite la experiencia de “ver con el ojo de la mente”. Estas representaciones son almacenadas en la memoria de corto plazo, pero pueden ser almacenadas en la memoria de largo plazo, para ser recordadas y transformadas o combinadas en nuevas formas.

internas, que permiten a la mente pensar o razonar sobre eventos que están ausentes, “representándolos” de alguna forma”. “En efecto, los científicos cognitivos comparten la convicción de que entre la experiencia y la conducta manifiesta debe mediar algún tipo de representación interna, por lo que ésta se convierte en un *factor causalmente indispensable* en la explicación de la conducta inteligente” (Ortells1996:25). Aunado a lo anterior, Mandrane (*et al.* 2007:3) menciona que: “En ciertos casos, el vocabulario utilizado en la Enseñanza de la Biología puede ser fuente de obstáculos en el desarrollo del sentido biológico de un concepto dado. Además, el vocabulario utilizado en la enseñanza de la biología descansa sobre un dominio poco explorado por los especialistas” (sic)²².

Entonces, con los párrafos previos en mente, ¿cómo apoyar a los estudiantes en la construcción de representaciones de conceptos científicos? Casanueva en Díaz (2005:48) habla del *soprote del modelo*, el vehículo de representación, aquello que puede ser comunicado o mostrado. Pero en ciertas circunstancias no sólo se trata de simples conceptos, sino que a veces involucran un componente espacial o temporal, lo que hace indispensable “echar mano” de la imaginación, o de las imágenes para hacerlos más explícitos, o tenerlos presentes de una manera más consciente.

Por ejemplo, durante la lectura de algún texto en otro idioma, si éste hace referencia a cuestiones espaciales, por ejemplo un segundo piso o un lugar donde nunca hemos estado, es difícil para un estudiante, que empieza a aprender un idioma extranjero, además de decodificar el lenguaje, luego imaginar la situación espacial, con lo que se aumenta la carga cognitiva, porque el esfuerzo que requiere esta tarea es mayor, en términos cognitivos costoso. Porque como lo indica (Lévy 2004:96): “En efecto, la cosa está ausente, ella se nos escapa: porque sólo la aprehendemos por su nombre, su concepto, su imagen, su percepción, es decir, a través de otros signos”.

²² Traducción libre del texto de Mandrane et al. “Importance didactique des obstacles à l'apprentissage dans une perspective de formation à l'enseignement des sciences”. 2007 “Dans certains cas, le vocabulaire utilisé dans l'enseignement de la biologie peut être source d'obstacle vers le développement du sens biologique d'un concept donné. De plus, le vocabulaire utilisé dans l'enseignement de la biologie reste un domaine peu exploré par les spécialistes”. Disponible en <http://www.radisma.infodocument.php?id=460> Consultada el 2 de enero de 2008 por Miriam V. Muñoz Cruz

Por ello, la intención sería abatir o disminuir la carga cognitiva que genera el lenguaje, no en el sentido de sacrificar el rigor de una disciplina, sino más bien empezar a construir conocimiento desde algo más familiar o primitivo, como serían las imágenes, hacia aspectos conceptuales más complejos. Es importante resaltar que los mismos biólogos, en sus revistas impresas, utilizan este recurso para convencer a sus colegas o a su audiencia. Como lo expresa Köpen (2007:38): “un artículo científico moderno intenta presentar los resultados mediante una mezcla óptima de texto, cuadros y gráficos para una fácil extracción cognitiva de la información y por lo tanto sostiene que no es posible analizar texto y gráficas por separado sino que forman un todo integrado”.

Probablemente, nuestra **hipótesis** es que las imágenes, por ser menos abstractas, más concretas y cercanas a la realidad de los alumnos de bachillerato, si se quiere hasta primitivas o de baja carga cognitiva, pueden ser un primer peldaño hacia la construcción de representaciones más complejas o abstractas como lo serían las que involucran a las palabras o los modelos. Aclaro que la palabra es en el sentido de asociada o relacionada con el significado de un concepto científico.

Si las imágenes no tuvieran posibilidades, cómo se explica que Köpen (2007:40) en su revisión hemerográfica, “Los trabajadores de la ciencia desde sus inicios, se han servido de las representaciones pictóricas y gráficas para explicar y transmitir conocimientos, descubrimientos y teorías, así como también han buscado la visualización de objetos y fenómenos no perceptibles por el ojo humano para su mejor entendimiento...” Como puede verse la ciencia se ha valido de las representaciones gráficas e icónicas para ser comunicada, entendida y aprendida.

2.3.6 El modelo.

En la ciencia, como en otras áreas, dada la complejidad de los objetos de estudio o la poca posibilidad de percibirlos dentro de nuestra escala, es posible hacer uso de modelos. Para López (2005 en Díaz 2005:12). “los modelos son elementos que sirven para demostrar algo y ser copiados”. Nos acercan a los fenómenos o procesos de la naturaleza y de esta manera representarlos, interpretarlos o analizarlos. Así, un modelo puede entenderse como: “una representación abstracta del mundo real,

es una simple representación de formas más complejas, procesos y funciones de fenómenos físicos o ideas”(Heinze y Tyler, 1997)

Sobre este punto Johnson Laird (1983) nos argumenta:

...que la gente no razona empleando reglas abstractas, sino más bien ellos construyen y combinan modelos mentales y generan inferencias consistentes con esos modelos. Los modelos están basados sobre las premisas dadas y sobre conocimiento semántico general incluyendo el significado de cuantificadores y conjunciones. Los modelos consisten de muestras simbólicas que representan las propiedades de entidades y conservan las relaciones entre entidades. Estos modelos son esencialmente situaciones imaginadas representando las condiciones de verdad de proposiciones, pero no son supuestas de encargarse sobre cualquier forma subjetiva particular (perceptual, proposicional, etc.); más bien es la estructura de los modelos lo que es importante.

El modelo entraña una comprensión de naturaleza simbólica extrae algo de la esencia y expresa una semejanza con el objeto representado.

Pérez 1998:42 señala también que: “Los modelos mentales están compuestos por series de reglas o sistemas de producción, se basan en la idea de que los sistemas cognitivos construyen modelos de las situaciones con las que interactúan, lo que permite, no sólo interpretarlas sino también realizar predicciones a partir de ellas”.

Específicamente el modelado se refiere al proceso de demostrar intencionalmente y describir las partes componentes de una habilidad a un estudiante novato. El modelado trabaja porque proporciona un trato amplio a la información explícita sobre una habilidad y aumenta las expectativas del novato de que una nueva habilidad puede ser dominada (Schunk, 1991 en: Schraw Gregory y David W. Brooks, 2006).

En ese sentido, Pozo (1999: 516) señala que: “Los modelos y teorías científicas que el alumno debe aprender vienen formulados en lenguajes que se alejan bastante de los códigos en los que habitualmente el alumno se representa sus propios conocimientos implícitos, escasamente formalizados, al consistir en acciones, percepciones fragmentarias o aisladas”. Además habría que agregar que “En las prácticas educativas actuales, los saberes presentados son remodelados, reorganizados y reformulados, porque ellos pueden ser compatibles con el nivel mental e intelectual de la población blanco” (Mandrane et al 2007: 3).

Curiosamente, dentro de los campos de la Biología y las Matemáticas para este siglo, El *National Research Council 2005*, reconoce tres tipos de retos conceptuales y bioinformáticas que aparecen en el ambiente rico de datos de hoy: (1) recuperación e integración de información, (2) representación de conocimiento, y (3) prueba de hipótesis y construcción de modelo. Este orden lógico sugiere una secuencia de diseño de estrategias, donde niveles más básicos o cercanos al estudiante corresponderían a las representaciones, y niveles más abstractos o de mayor profundidad, serían utilizar o inclusive construir modelos.

2.4 Dimensiones del aprendizaje de la célula

Dado que el aprendizaje de la ciencia es un proceso extraordinariamente complejo y con la intención de un mejor abordaje de este tipo de contenidos, se propone considerar **varias dimensiones, entendidas como dominios o campos de conocimiento**, como la didáctica o la disciplina, entre otras que participan o intervienen en dicho proceso. Cabe mencionar que en este apartado, la dimensión neurobiológica se considera, porque ella tiene evidencia neurocientífica de cómo puede estar sucediendo el aprendizaje, y aportar algo a su comprensión desde una mirada un poco distinta, pero igualmente interesante. Como se verá en este apartado, cada una de las dimensiones da énfasis especial a ciertos temas, por ejemplo, en la dimensión didáctica se comentan aspectos como: la necesidad de distintas alfabetizaciones, la importancia de la modelación en el aprendizaje de la célula, el potencial de la didáctica de las imágenes, entre otros; en la dimensión neurobiológica se comentan: el cerebro en el Sistema Nervioso, los hemisferios cerebrales, los lóbulos: frontal, temporal, occipital y el hipocampo; para en la parte final de esta dimensión se elabore un resumen del proceso de aprendizaje.

2.4.1 Dimensión disciplinaria

El que un objeto de estudio no sea perceptible a simple vista, no es sinónimo de que no exista o que no sea posible su estudio. Esto sucede con las células, "Virtualmente toda la biología celular trabaja con objetos que el hombre no es capaz de ver, oír o tocar en forma directa; aún así, y a pesar de este tremendo inconveniente, las

células son objeto de miles de publicaciones al año, en las que se estudian casi todos los aspectos de su diminuta estructura” (Karp 1987:1).

Una comprensión básica de la estructura de las células es fundamental para comprender su funcionamiento, sin embargo, los conceptos utilizados a menudo quedan fragmentarios en el nivel subcelular y no están suficientemente integrados en el nivel celular y de organismo (Verhoeff, Warloo y Boersma, 2008:543).

El estudio de la célula involucra para su aprendizaje un proceso complejo que “requiere de la construcción de una imagen (funcional y estructural) o representación abstracta con relaciones o procesos complejos” (Flores, Tovar y Gallegos, 2001).

Pero además se han establecido diferentes problemas conceptuales sobre: “...el entendimiento de la célula como un organismo autónomo y las funciones que desempeña hasta las dificultades en sus representaciones espaciales y métricas, resultando en confusiones entre células, átomos y moléculas,...para los estudiantes quiénes no son capaces de integrarlos dentro de una imagen total” (Flores, Tovar y Gallegos, 2003). Esta última afirmación tendría como contra argumento que en algún momento, si diseñamos estrategias adecuadas, los estudiantes podrían lograr la integración de la célula como un todo.

Parte de la complejidad puede apreciarse en las frases: “...las células eucarióticas están altamente divididas y contienen un genoma nuclear y uno o más genomas organelares”. “...el conocimiento detallado de la estructura de las células es un prerequisite para el entendimiento cuantitativo de funciones celulares”.

Sin embargo, durante mucho tiempo las dimensiones de las células impidieron su estudio, por ello hubo que esperar hasta que se desarrollaran los primeros microscopios entre los siglos XVI y XVII para llevar a cabo dicha labor.

Probablemente, como sucede normalmente, este conocimiento parte de la pregunta “...cuál es la parte más pequeña que constituye a los seres vivos, el común denominador, esto es, la unidad que caracteriza a los seres vivos el principio o

unidad fundamental para la organización y funcionamiento del cuerpo y en última instancia, de la vida” (Ledesma 2000:300).

Una revisión interesante de cómo hay una base racional para la construcción de la teoría celular se puede encontrar en el libro de Ledesma (2000) “Historia de la Biología”. Ahí se detalla cuáles de los personajes en los distintos siglos contribuyeron a ella, aún con la consideración de que no todos eran naturalistas, Dicho autor destaca: “Evidentemente, el microscopio con las observaciones de las células y su estructura tendrán una participación importante en la comprensión de lo que es la célula y su significado en biología, sin embargo, esto no significa que la compilación de las observaciones y descripciones de ellas hallan conducido a la generación del concepto de célula”.

Con las consideraciones anteriores en mente, las células pueden definirse como las unidades básicas de la vida, porque todos los seres vivos son estructuralmente células, desde un organismo unicelular (formado por una sola célula) por ejemplo una bacteria, hasta un organismo pluricelular (organización estructural mediante varias células) como una ballena. Las células son consideradas las unidades estructurales, de funcionamiento y de origen, por lo que son autónomas y autorreplicables.

Para construir un concepto dinámico de la célula viva no es suficiente con realizar una buena observación y un buen uso del microscopio, es indispensable recapitular cómo evolutivamente se han formado, entender los tipos de células que existen y los niveles de organización cercanos a ellas, comprender cómo es su estructura, así como el papel de las distintas técnicas e instrumentos que han participado y están participando en su estudio. E inclusive, como se explicará en capítulos posteriores, ver videos en tiempo real de células vivas, o algunas simulaciones para complementar el espectro de recursos.

Es interesante antes de plantear el origen de las células, tener presente que previo a ello, los científicos tratan y han intentado explicar el posible origen del universo, del Sol, de la Tierra y de los planetas, previos al origen de la vida. Particularmente, sobre el origen de las células se asume que:

Hace alrededor de tres mil quinientos millones de años, en condiciones sólo en parte conocidas y en un espacio de tiempo difícil de estimar, los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo formaron compuestos químicos simples, los cuales se combinaron dispersaron y recombinaron para formar una amplia gama de moléculas mayores hasta llegar a una estructura capaz de replicarse a sí misma. Con el tiempo se formaron moléculas cada vez más y más complejas, hasta que el entorno de alguna de éstas moléculas autorreplicativas quedó encerrado por una membrana lipídica. Esta mejora permitió que estas estructuras controlasen en parte de su propio entorno. De este modo apareció la célula como unidad fundamental de la vida. Las células evolucionaron y su química y su estructura se hicieron más complejas... (Devlin, 2004: 4)

Es necesario decir que el estudio de las células se ubica entre los niveles: microscópico y submicroscópico. En ese sentido, Karp (1987: 1) señala que: “Es evidente que, el universo consta entonces de mundos dentro de mundos, y que el análisis de todos estos aspectos es una materia de estudio fascinante”. Así por ejemplo, las células eucarióticas son perceptibles en el nivel microscópico, mientras que las procarióticas pertenecen al nivel submicroscópico. De manera que:

...existe un mundo microscópico y, a veces submicroscópico, constituido por las células procariotas o células sin verdadero núcleo (aunque sí con ácidos nucleicos) y cuyos orgánulos citoplasmáticos quedan limitados a los ribosomas y algunos sistemas simples de membranas. Incluso por debajo de este nivel están los virus y viroides, considerados seres vivos infecciosos pero no organismos celulares. Existen otros agentes infecciosos que ni siquiera pueden ser considerados seres vivos, como es el caso de los priones (Paniagua *et al.* 2003: 20).

Es indispensable señalar que está abierto el debate sobre los virus, si son parásitos intracelulares o supremoleculares, y considerando las características de las partículas infectivas de naturaleza proteica como los a los priones, probablemente en un futuro será necesario redefinir el concepto de vida.

Un aspecto todavía en debate, y por tanto en investigación hace referencia a que “El origen de los eucariontes es todavía incierto, pero ellos heredaron genes desde ambos dominios Arquea y Bacteria; una posibilidad es que los eucariontes se originaron cuando los arquea se fusionaron con las bacterias” (Pollard y Earnshaw, 2008:4)

Considerando la complejidad de las células vivas para estudiarlas se dividen en dos grandes grupos perfectamente distinguibles: las células procarióticas y las eucarióticas. Las células procarióticas son de entre 5 a 10 micras, carecen de núcleo y su citoplasma presenta ribosomas, proteínas y enzimas, aunque carecen de otras

estructuras como los organelos membranosos. Solamente algunos tipos celulares tienen mesosomas que “son simples derivaciones de invaginaciones de la membrana plasmática” (Karp, 1987:27).

De acuerdo con Margulis (2006:2), por lo general, las células eucarióticas suelen ser mucho mayores que las procarióticas; normalmente 1000 veces el volumen de éstas, comúnmente miden entre 50 a 150 micras. Poseen organelos bien definidos tales como el núcleo, las mitocondrias, los lisosomas, y los peroxisomas entre otros que se encuentran limitados o no por membranas.

Otra diferencia importante es: “En las células eucarióticas, el DNA está fuertemente enrollado con proteínas formando los cromosomas, estructuras alargadas que se encuentran en el interior del núcleo. El DNA de los procariontes en cambio, es una sola molécula, larga y circular, que flota libremente en el interior de la célula”. (Margulis, 2006). Cabría mencionar que el DNA en procariontes carece de histonas, y que la envoltura nuclear está ausente, a diferencia de los eucariontes.

En los siguientes párrafos describiré la estructura celular de una célula eucariótica desde el exterior celular hacia el interior celular. Quiero mencionar que es solamente para ubicar espacialmente al lector, porque un aspecto funcional de la célula tal vez involucraría partes muy concretas de la misma o el énfasis sería mayor en ciertas estructuras u organelos subcelulares. Es importante señalar que el exterior celular implicaría otras estructuras externas si se trata de un organismo pluricelular, porque involucraría el contexto social de la célula, donde puede verse la conexión de la célula con la matriz extracelular, el fluido extracelular, entre otros (Veáse la figura 5.8)

El orgánulo más externo de una célula eucariótica típica y que la delimita del exterior celular, es la membrana plasmática. Químicamente es una bicapa de fosfolípidos entre los que se encuentran proteínas integrales, que la atraviesan; por ejemplo, “La superficie exterior establece interacciones adhesivas con la matriz extracelular y con otras células mediante las integrinas, proteínas de transmembrana. Las integrinas se unen al citoesqueleto en el interior de la célula” (Devlin, 2004: 17). Otras proteínas que se localizan orientadas hacia el exterior celular, pero que están unidas a los

fosfolípidos son las proteínas periféricas. También pueden contener colesterol. En la membrana hay canales, bombas y transportadores.

En continuidad física con la membrana se localiza el citoplasma, que es un espacio físico conformado por el citosol y el citoesqueleto. El citosol es una matriz acuosa de aspecto gelatinoso, donde se localizan distintas sustancias químicas; tiene un alto contenido proteico lo cual hace que sea una mezcla homogénea de componentes solubles, que rodea los diferentes organelos subcelulares, es un lugar donde ocurren muchas de las reacciones químicas, presenta enzimas que están débilmente unidas a las estructuras membranosas o al citoesqueleto (Cfr. Devlin *Op. cit.*:22).

La otra región del citoplasma, el citoesqueleto es una red visco-elástica de fibras que está prácticamente por toda la célula, esta red está conformada de: microtúbulos, microfilamentos y filamentos intermedios tiene que ver con la forma de la célula y el movimiento intracelular. Los microtúbulos son multímeros de tubulina, una proteína que se polimeriza y despolimeriza rápidamente según las necesidades de desplazamiento de la célula. Los microfilamentos son fibras de proteína actina y miosina. Los filamentos intermedios poseen al menos cinco proteínas diferentes, tres proteínas mecanoquímicas son: miosina, dineína y quinesina (Devlin, 2004: 22, Audesirk y Audesirk, 1997: 96) y las dos restantes “están constituidos por distintos tipos de proteína dependiendo del tejido donde se encuentren; así, por ejemplo, en el núcleo encontramos laminina, en las células epiteliales queratina y en las células musculares desmina” (Jímenez 2006: 101).

Además de las regiones del citoplasma, citosol y citoesqueleto se localizan varios sistemas de membranas celulares interconectadas que conforman redes tubulares en el interior de toda la célula, estos son el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi, los cuales tienen conexión física desde la membrana plasmática hasta la envoltura nuclear.

El retículo endoplásmico es una red de túbulos y sacos que están interconectados y guardan una conexión física con el núcleo a través de la envoltura nuclear. Cuando estas membranas adoptan un aspecto rugoso, por la presencia de ribosomas se denomina retículo endoplásmico rugoso. Este retículo almacena las proteínas

sintetizadas. Mientras que otras zonas desprovistas de ribosomas reciben el nombre de retículo endoplásmico liso, involucrado en la síntesis de lípidos y sus derivados.

“El retículo endoplasmático conecta con otras membranas que forman grupos de sáculos superpuestos y que constituyen el aparato o complejo de Golgi, donde se producen modificaciones en las moléculas fabricadas en el retículo endoplasmático, principalmente en los hidratos de carbono añadidos a las proteínas” (Paniagua et al. 2003: 31). El aparato de Golgi consta de una serie de membranas lisas y aplanadas con forma de sacos que se denominan cisternas, las cuales liberan distintos tipos de vesículas. Entre otras funciones importantes “El aparato de Golgi es el lugar principal de síntesis de nueva membrana y el responsable de la formación de los lisosomas y los peroxisomas”. (Devlin, 2004:18).

“Los lisosomas son vesículas esféricas rodeadas por una sola membrana. Ellos contienen una mezcla concentrada de enzimas hidrolíticas (digestivas), las cuales son producidas por el Aparato de Golgi o por el Retículo endoplásmico. Los lisosomas están involucrados en la ruptura de los contenidos de las vacuolas alimenticias que son importadas” (Clegg, 2000:15). Pero también pueden digerir componentes intracelulares.

Las otras vesículas que secreta el aparato de Golgi son los peroxisomas, los cuales reciben el nombre de microcuerpos, “son orgánulos de forma ovalada o esférica con una fina malla tubular en su matriz” (Devlin, 2004:22) contienen varios enzimas que se encargan de generar y degradar el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que es muy reactivo.

Formando parte del citoplasma, los organelos subcelulares rodeados con dos membranas externas, dotados de cierta autonomía (su propio DNA y RNA), son las mitocondrias y los cloroplastos, éstos últimos son exclusivos de las plantas.

Específicamente las mitocondrias son estructuras tridimensionales de distintas formas: esferas, varillas, cilindros, o cuerpos filamentosos. Se encuentran en muchos tipos celulares y en gran número. Su estructura tiene una doble membrana, claramente diferenciada. La membrana exterior es de aspecto liso y delimita este

organelo; mientras que la membrana interior forma una serie de plegamientos internos que reciben el nombre de crestas, en las cuales hay adosados a su superficie una serie de pequeñas esferas pedunculadas. “La estructura de las crestas puede ser tubular o lamelar*, según el tejido y el estado conformacional de la mitocondria” (Devlin, 2004:19). La región interior o matriz, es denominada por algunos autores de textos especializados como mitosol, la cual es una solución coloidal. A diferencia de otros organelos subcelulares poseen su propio DNA mitocondrial. Es indispensable mencionar que las mitocondrias están presentes en células vegetales y animales.

Por su parte los cloroplastos, pertenecen a un grupo más grande de organelos exclusivos de las células vegetales, que es el de los plastos o plastidios, como los leucoplastos (plastos de color blanco que almacenan almidón) y los cromoplastos (que son plastos coloridos).

Los cloroplastos tienen formas diferentes, puede haber apariencias discoidales, ovaladas, como bastón, en espiral, o en red, entre otros. Tiene una doble membrana la lisa es continua y limita a este organelo. La interna forma un sistema de membranas no plegadas denominadas tilacoide. En el interior del cloroplasto los tilacoides se arreglan en una serie de estructuras circulares aplanadas, llamadas grana (o granum en singular). Estas estructuras están embebidas por una matriz interna denominada estroma (Cfr. Clegg, 2000: 16-17).

Todas las células eucariontes, independientemente de si son de hongos, protozoarios, plantas o animales, tienen como característica distintiva la presencia del núcleo. Es un organelo altamente estudiado, con una estructura sumamente compleja, tridimensional, y dinámica. Este organelo es perceptible aun en microscopía fotónica. De la estructura más externa del núcleo a la más interna, se encuentra en primer lugar la envoltura nuclear, “un sistema de doble membrana que forma una cisterna y que presenta continuidades con el retículo endoplasmático” (Echeverría y Ontiveros 2001: 21). Dicha envoltura está presente toda la vida de la

* Estructura aplanada, parecida a una lámina u hoja, laminilla-

célula a excepción de cuando la célula se prepara para dividirse. La membrana externa está conectada en algunos sitios con el retículo endoplásmico, y la membrana interna, inmediatamente debajo de ella se comunica con el nucleoplasma; ambas membranas son atravesadas por una serie de poros nucleares o complejos de poro. En estos sitios ambas membranas se tocan.

Si se revisan libros especializados en el tema del núcleo, puede verse que el nucleoplasma o matriz nuclear es una región altamente organizada, lo que hace pensar que se encuentra tan compartimentalizado como lo está el citoplasma. De hecho hay una conexión física con este último. Margulis (2006: 2) menciona que el núcleo “contiene el material genético, ácido desoxirribonucleico (DNA), así como grandes moléculas de proteínas esenciales y ácido ribonucleico (RNA)”.

“Podemos dividir a los componentes de la matriz nuclear en dos grandes grupos. El primero, asociado a la envoltura nuclear está formado por la lámina y el complejo de poro. El segundo... se le llama matriz nuclear interna. Ésta está formada por un conjunto de filamentos altamente ramificados... que agrupan proteínas y RNA...” (Echeverría y Ontiveros, 2001: 35-36).

Aunque actualmente se desconoce la composición química de los mencionados filamentos, sólo es sabido que contienen RNA en cantidades apreciables, cromatina, ribonucleoproteínas, “Estos componentes ribonucleoproteicos involucran principalmente cuatro características:

- 1.- Gránulos pericromatinianos
- 2.- Gránulos intercromatinianos
- 3.- Fibras pericromatinianas
- 4.- Cuerpos espiralados” (Páez 2001 en Echeverría y Ontiveros 2001: 99).

Una estructura subcelular es el nucleolo, que puede encontrarse en número variable en el núcleo celular, “y puede ocupar hasta el 25% del volumen del núcleo; se encuentra rodeado por cromatina perinucleolar (compacta). A diferencia de los organelos citoplasmáticos, éste carece de membrana que lo delimite, aunque parece estar constituido por estructura en forma de red...” (Izaguirre, 2001 en Echeverría y Ontiveros 2001:115).

Sobre las técnicas para abordar el estudio de la Biología celular, podrían ser motivo de numerosas publicaciones, porque es un área de mucha innovación. Desde las numerosas técnicas de microscopía de las que se dispone actualmente, por ejemplo, en microscopía fotónica, de campo claro, de campo oscuro; en microscopía electrónica: de transmisión, de alto voltaje, de energía atómica, de barrido, de dispersión de rayos X, etc. O la manera de preparar las muestras para ser observadas en la microscopía electrónica como: de contraste negativo, de criofractura, de sombreado metálico, de inmunohistoquímica o de autorradiografía, entre otras. Hasta las técnicas propiamente de investigación con células, por ejemplo: la enzimoquímica, el fraccionamiento celular, el cultivo celular, la electroforesis, la hibridación de ácidos nucleicos y PCR. (Cfr. Paniagua, et al 2003: 3-20. Alberts, *et al* 2008 y Lodish, *et al*, 1995).

2.4.2 Dimensión didáctica

Una segunda dimensión a considerar en el aprendizaje de la biología es la de la didáctica; en ese sentido hay múltiples intentos para mejorar la enseñanza de la biología: hay quienes propone que la biología debería explicarse desde la filosofía, particularmente desde la ética²³, aunque otros autores piensan que podría ser a partir de los errores cometidos por la ciencia²⁴ o de la lectura de fuentes primarias²⁵. Sin embargo, cada una de las posturas implica riesgos o condiciones especiales, con consecuencias para su aprendizaje.

Como se comentará más adelante el enfoque de este trabajo es distinto a éstos, porque se pretende un abordaje de la célula desde una mirada tecnológico - didáctica multidimensional.

Particularmente, respecto a la didáctica consideraré cuatro puntos centrales: los que directamente tienen que ver con las aulas, lo referentes a la alfabetización, la modelización y en la última parte abordar el problema de la didáctica de la imagen.

²³ Pérez Gómez A I 2000. La cultura escolar en la sociedad neoliberal. p 104.

²⁴ Sadler, Troy and Dana Zeidler. "Teaching Bad Science". The science teacher. December Vol 70,9 p:36-40.

²⁵ Brill, Gilat, Hedda Falk, y Anat Yardeen. 2004. "The learning processes of two high school biology students when reading primary literature". Int. J. Sci Educ. 19, March, Vol. 26, No.4, 497-512

2.4.2.1 Las aulas

En las aulas, la didáctica nos hace conscientes de que son los profesores y alumnos constructores activos de significados (Gimeno y Sacristán 1999). Y que el aula, debe ser considerada como un espacio de comunicación y de negociación (Edgar y Mercer 1988).

Es indispensable que un estudiante de bachillerato conozca un vocabulario mínimo para comprender a la célula. Esto le permitirá leer y comprender textos, e inclusive en algún momento redactarlos. Según Díaz (1988), la adquisición de vocabulario científico sólo se logra con el estudio de la disciplina. El vocabulario es un nivel básico, que le permitirá apropiarse del lenguaje mismo que expresa la entramada red de relaciones entre conceptos en su estructura conceptual, y donde cada tema tiene muchos elementos que se interconectan a lo largo de un pensamiento multinivel, que va desde los niveles: macroscópico, microscópico y simbólico; por si fuera poco, el pensamiento biológico es sintético, porque toma elementos de la física, las matemáticas u otras ciencias, amén de los propios.

Desde el aula son igualmente importantes las ideas previas. Son parte de los marcos ingenuos o explicaciones que poseen los estudiantes acerca de un tema. En ese sentido, la literatura de enseñanza de la ciencia promueve un enfoque constructivista, donde es importante la comprensión de las ideas previas de los estudiantes para provocar el cambio conceptual.

Para Vosniadou (1994) la elaboración de cualquier estrategia de enseñanza o de aprendizaje debe considerar que los estudiantes sean confrontados mediante preguntas que, ayuden a hacer explícitas sus ideas previas, para que puedan generar sus modelos mentales, que serán representados de manera gráfica. Posteriormente someter a prueba este primer modelo y confrontarlo con evidencia contra intuitiva, que debe estar más cercana al modelo científico, para ver cómo los estudiantes construyen este segundo modelo, un modelo sintético.

Es necesario analizar el modelo mental generado por los estudiantes, en términos de su consistencia interna, para de esta manera detectar las estructuras teóricas que

están reprimiendo su interpretación y entender como promover el proceso de cambio conceptual. La esperanza estaría cifrada en que los alumnos al menos obtuvieran un modelo sintético del fenómeno de estudio.

2.4.2.2 Distintas alfabetizaciones

Este apartado intenta plantear la inquietud de un deber ser en nuestros estudiantes de bachillerato, en el sentido de las distintas alfabetizaciones que ellos deben adquirir a fin de obtener un mejor egresado. Una visión contemporánea sobre la enseñanza de la ciencia expresa la necesidad de alfabetizar científicamente a los ciudadanos. Así, “la educación en biología, como la educación en cualquier otra disciplina se esfuerza por familiarizar a los estudiantes de biología con el conocimiento, actividades y formas de pensamiento de la comunidad de biólogos, y ayudarles a llegar a ser biológicamente cultos”, alfabetizarlos científicamente²⁶. Holliday, Yore y Alvermann (1994) expresan que esta alfabetización es la capacidad para ubicar y comprender información de este tipo y de persuadir a otros de su veracidad. Ésta alfabetización incluye aspectos importantes como la calidad de vida, la relación del hombre con el medio y del medio con el hombre, entre otros.

Nuestros alumnos requieren también de una alfabetización tecnológica, que les permita manejar las herramientas de cómputo, las cuales son de importancia global para el biólogo y para el profano informado (Smidth 2002). Se puede disponer de la literatura electrónica, para ampliar el horizonte de conocimientos actualizados, adecuados al nivel y susceptibles de ser compartidos, por lo que provee de oportunidades para apropiarse de ellos. Se señala que la literatura biológica puede apoyar, porque es internacional, depende de publicaciones seriales para su difusión, es interdisciplinaria, compleja, y tiene un amplio espectro en usuarios y volumen. Como requisitos mínimos o habilidades básicas del usuario, Ruíz - Velasco (2003) menciona que es indispensable que el usuario tenga o desarrolle ciertas habilidades mínimas para la selección, recuperación, evaluación y publicación de información en Internet.

²⁶ Brill, Falk y Tardeen 2004. “The learning processes of two high school biology students when reading primary literature”. *Int. J. Sci Educ.* 19, March, Vol. 26, No.4, 497-512.

Otra alfabetización necesaria es la visual, porque “Las nuevas generaciones están acostumbradas a contemplar muchas imágenes, pero no las asimilan” (Pro, 2003: 27), probablemente no las leen o decodifican. Por ello, se requiere que nuestros estudiantes sean capaces de discriminar entre imágenes seductoras cuya finalidad es decorativa o de desviar nuestra atención, inclusive en los libros de texto a los que tenemos acceso profesores y alumnos, y aquellas destinadas a una función pedagógica o didáctica, particularmente en materias altamente visuales como la biología, las matemáticas o la química, entre otras, donde actualmente se requiere que entiendan y analicen diferentes imágenes.

2.4.2.3 La modelación

Desde la didáctica de las ciencias experimentales Perales (2006: 21-23) hace las siguientes propuestas: Una parte fructífera e importante es la modelación de los fenómenos a través de representaciones gráficas; porque es la vía convencional empleada por la comunidad científica para describir, interpretar y predecir fenómenos naturales. El aprendizaje de conceptos y sus representaciones simbólicas incorporan el plano realista y el simbólico, por lo que posibilitan la expresión gráfica.

Como propuesta metodológica se propone el uso de los mapas mentales, que se describirán más adelante, porque Fisher, Wandersee y Moody (2000): afirman que las actividades mentales comprometidas con el mapeo de conocimiento pueden expandir los procesos cognitivos y metacognitivos del aprendiz, a través de diversas acciones; arreglo espacial, jerarquía y conectividad.

Pero por otra parte, existen otro tipo de procesos que son más abstractos y requieren de un análisis proposicional, donde participan la sintáctica y la semántica, que es característico de un pensamiento más abstracto, complejo y que requiere un trabajo mayor, en términos de los procesos de pensamiento. En ese sentido considero como alternativa viable para la imaginación mental y la representación visual espacial: a la simulación mental y por computadora.

2.4.2.4 Didáctica de las Imágenes

Desde mi perspectiva, las imágenes deberían ser centrales en la práctica educativa cotidiana del aprendizaje de la biología. No sólo porque son la forma convencional que utilizan los científicos para: modelar, comunicar, intercambiar, sintetizar y construir conocimiento. Sino porque el uso de las imágenes y texto, genera la posibilidad de almacenar información en la memoria de largo plazo, ayudar a organizar información espacialmente y entender procesos, temporalmente, porque ofrece la posibilidad de generar imágenes mentales visuales, que en otro momento, crearán las condiciones que ayudarán a comprender fenómenos más complejos y de mayor profundidad.

Nuestra sociedad actual puede considerarse altamente visual e icónica, las imágenes se encuentran prácticamente por todas partes: en el cine, las revistas y periódicos, los anuncios espectaculares, la propaganda que se encuentra adherida a los postes, en la Internet, nuestras casas, en las paredes de las calles, o en la escuela, entre otros.

El uso de imágenes en la enseñanza o el aprendizaje parece tan cotidiano, fácil y hasta útil. Pero cómo discriminar entre imágenes seductoras cuya finalidad es decorativa o simplemente de desviar o distraer nuestra atención, como las que aparecen por todas partes, inclusive en los libros de texto, y aquéllas que deberían estar destinadas a una función pedagógica o didáctica, particularmente en materias altamente visuales como la biología.

Una hipótesis fundamental de la que parto es que las imágenes bien diseñadas, o puestas en mapas mentales, u otras representaciones gráficas del pensamiento, utilizadas como un soporte concreto de lo que se pretende representar, tienen una función didáctica e inclusive mnemotécnica, particularmente en el aprendizaje de temas extraordinariamente complejos, provenientes de materias excesivamente visuales como la biología, las matemáticas o la química entre otras. Básicamente porque, a diferencia de otras áreas del conocimiento, aquí a veces las palabras son insuficientes para explicar o dar cuenta de un fenómeno biológico. Como haría la comparación Da Vinci (2002:26) de la poesía con la pintura, mientras “El poeta

describiendo la belleza o fealdad de un cuerpo lo describe miembro por miembro, uno luego otro; el pintor hace todo visible a una vez”. Lo mismo podría decirse de las imágenes no requieren ser explicadas parte por parte, o iniciar su explicación siempre en el mismo lugar.

Entonces, ¿cuáles son las relaciones que guardan las imágenes con los procesos de pensamiento o el aprendizaje de un cierto tema? ¿Qué características deberían tener para apropiarnos de más información, organizarla, lograr recuperarla e inclusive generar nuevo conocimiento? ¿Por qué conformarnos en el aula con gis y pizarrón si se dispone de una gran diversidad de recursos tecnológicos a nuestro alcance? El uso de distintos recursos tecnológicos favorece la estimulación de distintas áreas de la corteza cerebral, se estimula la memoria y de ahí el aprendizaje, el cual será un poco distinto al gis y pizarrón, o al lápiz y papel donde se estimula un número más reducido de áreas y de neuronas, con mayor probabilidad de olvido.

Algunas preguntas que podrían despertar el interés en la didáctica de la imagen son: ¿Cómo los profesores podríamos apoyar a los estudiantes a poner orden dentro del caos de información proveniente de los medios o de cualquier otra parte? ¿De qué manera hacer que ellos desarrollen capacidades visuales para entender fenómenos espacio-temporales? ¿Cómo ayudar a sus procesos de abstracción o generalización? ¿De qué modo motivar sus sensaciones y sus afectos para lograr aprendizajes significativos? ¿Cuál es la relación que tienen las imágenes con los procesos de pensamiento o el aprendizaje de un cierto tema?

Sin embargo la mirada didáctica de la imagen debería considerar al menos tres direcciones:

- 1) Calidad de la imagen en el aprendizaje
- 2) La imagen, la percepción y la carga cognitiva
- 3) La imagen y la comunicación educativa

2.4.2.4.1 Calidad de la imagen en el aprendizaje

Hay imágenes que nos transportan a otros mundos, y nos alejan de la realidad porque nos pueden hacer evocar momentos o situaciones. Sin embargo, si se tienen

en cuenta con fines didácticos, debemos pensar en algunas de sus características que pudieran apoyarnos en ese sentido.

Pró (2003:32) expresa que la iconicidad es el grado de realismo de una imagen comparado con el objeto que se representa; por ejemplo un dibujo es menos icónico que una fotografía. De manera que hay una relación inversa entre la iconicidad y la abstracción, así que a mayor iconicidad menor abstracción e inversamente. Se señala también que la esquematización es un proceso mediante el cual la mente separa el mensaje visual que representa del objeto.

Al estudiar las fotografías incluidas en textos de biología para bachillerato en Brasil, Pozzer y Roth (2003) asignan cuatro funciones a las imágenes: decorativa, ilustrativa, explicativa y complementaria. La función decorativa es cuando las fotografías aparecen sin una imagen y referencia en el texto. La función ilustrativa de una fotografía es cuando aparece con una imagen que nombra el objeto o fenómeno representado en la fotografía. Aunque la información adicional en el texto no está disponible. Por su parte la función explicativa se refiere a fotografías con una imagen que nombra el objeto o fenómeno representado y da una explicación o clasificación de este objeto o fenómeno en el texto principal o en el pie de fotografía. Mientras que la función complementaria se caracteriza por fotografías con una imagen que nombra el objeto o fenómeno representado en la fotografía, da una explicación o clasificación de este objeto o fenómeno, y contiene información nueva que no está disponible en el texto principal, acerca de este objeto o fenómeno.

En ese sentido debemos tener presente que muchas de las imágenes biológicas provienen de los laboratorios científicos, o de sitios de campo donde trabajan los biólogos. Y para ser publicadas en una revista arbitrada o en un libro especializado, algunas de ellas son limpiadas y transformadas para hacerlas llegar al público (Pozzer y Roth Op. cit).

Como lo señala (Hodges, 1989 en Bedichevsky 2005:8) “La ilustración científica tiene como finalidad representar objetos o conceptos de la manera más exacta posible, cuidando la calidad artística. En esta relación de trabajo entre el artista y el científico, debe existir una buena comunicación para que se logren estos dos objetivos”.

Entonces debemos considerar el valor estético de las imágenes “...el color es un aspecto importante de las representaciones visuales de la ciencia y juega un papel en la creciente esteticidad de las imágenes, lo cual se refleja también en la aparición de galerías de imágenes científicas en Internet y en la proliferación en los ámbitos de la publicación científica de concursos para presentar las mejores imágenes científicas” (Köpen 2007: 40).

Es conveniente tener presente también que los contenidos de la ciencia de Preparatoria están dominados por acercamientos a la enseñanza y aprendizaje orientados por los libros de texto. Así las fotografías constituyen un aspecto principal de los textos de ciencia de preparatoria. Un estudio encontró cerca de 17 fotografías por cada veinte páginas de los libros de texto de biología de Preparatoria, en Brasil (Roth, Bowen, & McGuinn, 1999 en Pozer y Roth, 2003).

Por tanto, como docentes debemos cuidar que estas imágenes sean más cercanas a la disciplina y no simples caricaturas de fenómenos científicos, o simplemente atractivas, pero sin ningún significado, puesto que la imagen que proporcionemos a un estudiante es la que le va a durar en su memoria, a través del tiempo, y si es equivocada, probablemente tarde en darse cuenta, o nunca lo haga.

2.4.2.4.2 La imagen, la percepción y la carga cognitiva

Sin embargo, no podemos producir ideas visualmente, excepto en imágenes mentales y en sueños, ni compartirlas con otras personas, excepto si se muestran a través de programas de cómputo, de una pintura, dibujo, o mediante el diálogo. Porque Benítez (2006) afirma: “Las formas visuales de comunicación tienen una condición común, su capacidad para representar y expresar mediante imágenes. Pero lo que cada una de ellas puede efectivamente comunicar es esencialmente diferente”.

Para algunos de los profesionistas de una cierta área, comúnmente estamos familiarizados con el uso de la información, pero de qué manera ayudar a nuestros estudiantes a hacerlo adecuadamente, cuando lo primero que puede suceder es que

se saturan mentalmente con la información. Una alternativa viable es el uso de las imágenes. Así, Hende (1997 en: Berdichevsky, 2005:3) destaca que

Las teorías actuales sobre la percepción visual sugieren que la detección y conocimiento de objetos involucra un continuo intercambio entre la percepción y la comprensión del mundo externo. Esto es, existe un juego constante entre la percepción y la cognición más que un solo paso en el cual las señales neuronales se integran a una imagen visual en la corteza visual. Por lo tanto, si bien no es posible separar los mecanismos de detección, reconocimiento e interpretación de las imágenes visuales, en cambio estos procesos deben considerarse como un sólo proceso interactivo en el cual la adquisición de la información visual se integra con el reconocimiento y la interpretación, e incluso con la conciencia.

Por ello, la intención sería abatir o disminuir la carga cognitiva que genera el lenguaje, no en el sentido de sacrificar el rigor de una disciplina, sino más bien empezar a construir conocimiento desde algo más familiar o primitivo, como serían las imágenes. Los mismos biólogos, a través de sus revistas impresas o en sus presentaciones frente a colegas durante sus congresos, utilizan este recurso para convencer a su audiencia.

En la biología como en otras ciencias, las imágenes pueden ayudar a la imaginación y estimular el pensamiento para comprender, estudiar, o interpretar algún fenómeno. Porque tal como se expresa en una carta que recibió Hadamard (1945, en Penrose, 2002:500) escrita por Albert Einstein:

Las palabras o el lenguaje, ya sea escrito o hablado, no parecen desempeñar ningún papel en mi mecanismo de pensamiento. Las entidades físicas que parecen servir como elementos del pensamiento son ciertos signos e imágenes más o menos claros que pueden reproducirse y combinarse "voluntariamente"... Los elementos antes mencionados son, en mi caso, de tipo visual y muscular. Las palabras u otros signos convencionales tienen que buscarse laboriosamente sólo en una segunda etapa, cuando el citado juego asociativo está suficiente establecido y puede ser reproducido a voluntad.

Es decir, algunas disciplinas científicas se basan en el uso de signos e imágenes para ser interpretadas, estudiadas o enseñadas, inclusive para convencer a los pares de la comunidad científica. Por ejemplo, el uso de tomografías, ultrasonido, resonancia magnética, gamagrafías, junto a otras técnicas²⁷, permiten el estudio de

²⁷ Un estudio más detallado de técnicas de imagenología sumamente actualizadas sobre la arquitectura del cerebro y donde se reportan diversas maneras de mapearlo como: esquemas anatómicos, mapas numéricos, agua radiactiva, mapas jerárquicos, mapas de probabilidad, entre otras, se detallan en: Toga y Mazziota (2002:6) y en Brailowsky, Stein y Will 1992. Mientras que los aspectos neuroéticos derivados de diversas técnicas pueden encontrarse en el capítulo 94 denominado "Bioethical Issues in Cognitive Neurosciences" de Martha Farah (Cfr. Gazzaniga, 2004).

nuestros órganos a través de imágenes estáticas, tridimensionales, cuatridimensionales o en movimiento, ellas ayudan a los médicos a hacer diagnósticos clínicos más precisos, que antes simplemente eran inimaginables.

2.4.2.4.3 La imagen y la comunicación educativa

En el contexto actual Berdichevsky (2005) explica dos aspectos sumamente importantes con relación a las imágenes: en primer lugar, “Las imágenes visuales juegan un papel importante tanto en la construcción del conocimiento científico como en su comunicación (Lynch, 1990). Y Por otro lado, debido a que la ciencia es una empresa humana en constante cambio, sus resultados tienen que ser dados a conocer a la sociedad, y al hacerlo se utilizan diagramas, ilustraciones, mapas, esquemas, entre otros, que resumen y ayudan a que otros entiendan la información que contienen (Mathewson, 1999)”.

Específicamente, la comunicación educativa tiene que sortear algunas dificultades, por ejemplo Treffel (1986 en Pró, 2003): “asigna a los profesores la labor de poner orden en el caos de informaciones que recibe hoy en día el alumnado, sometido al bombardeo de los medios de comunicación masivos, ayudando a analizar aquello que muchas veces ni se observa, sino que se traga”. Todos estos estímulos externos propician barreras a una verdadera comunicación.

Aunque hay que tener presente si las imágenes no tuvieran posibilidades, cómo se explica que Köpen (2007:40) sostenga en su revisión hemerográfica, “Los trabajadores de la ciencia desde sus inicios, se han servido de las representaciones pictóricas y gráficas para explicar y transmitir conocimientos, descubrimientos y teorías, así como también han buscado la visualización de objetos y fenómenos no perceptibles por el ojo humano para su mejor entendimiento...”. Con lo que puede verse que la ciencia se ha valido de las representaciones gráficas para comunicarse y entenderse.

Hoy se cuenta con nuevas posibilidades tecnológicas y herramientas computacionales que aumentan enormemente las posibilidades de uso y la producción de imágenes dada la facilidad de digitalización, edición y manipulación de

ellas, su disponibilidad instantánea en redes de comunicación y el abatimiento de costos para su publicación también a todo color (*Op. cit.*, p 41).

El desafío actual es que para ciertas disciplinas científicas como la biología, la química o la física, se requiere de una “buena dosis” de imaginación, pero no en el sentido de fantasía, sino como una capacidad creativa en la intelección de fenómenos. Pero qué es la imaginación, “Cuando tú imaginas algo, el conocimiento recuperado es recordado sobre experiencias previas almacenadas en la memoria de largo plazo para construir qué podrá ser parecido si tú realmente estás haciéndolo. Cuando tú imaginas algo, realmente no hay nada “allá afuera”, sólo la imagen que debe estar en tu mente” (Styles 2005: 4). Para Da Vinci (2002: 24) la imagen imaginada no puede ir más allá de la comunidad de sentidos excepto para ser encomendada a la memoria, y ahí se detiene y muere, si la cosa imaginada no es de gran valor.

En ese sentido, la visualización computacional implica un proceso de transformación en el cual los datos adquiridos por mediaciones o simulaciones, así como los conocimientos no espaciales, son inherentemente convertidos en una forma visual que permite estudiar y entender la información. La visualización nos permite imaginar, ver lo oculto o lo inobservable mediante modelaciones y simulaciones y no desaparecer, sino retomarse, transformarse e inclusive proponer.

Luego cuando un estudiante ha observado las imágenes y simulaciones de los distintos organelos subcelulares dentro de la estructura celular completa, de manera holística, tiene la posibilidad de interpretar el significado funcional de la célula, generar nuevas ideas y estimular las situaciones imaginadas que le ahorrarán tiempo y esfuerzo con respecto a hacerlo paulatinamente y de manera fragmentaria.

Para cerrar este apartado hay que ser consciente de que la imagen por si sola no va a promover aprendizaje, tienen que considerarse otros aspectos que se discutirán más adelante.

2.4.3 Dimensión Psicológica

Martínez (2002) atrae nuestra atención al hecho de que la visión es uno de los canales que lleva al hombre a obtener conocimiento del mundo. Cita a Leonardo Da Vinci quien pensaba que la lógica interna de la mente funcionaría de manera similar a la lógica de los fenómenos naturales, de manera que la mente del observador podía penetrar en la “mente” de la naturaleza para actuar como su intérprete. Entonces, “...la imagen mental es un tópico susceptible de estudio psicológico y un constructo útil dentro de la psicología” (Ortells, 1996:105). “Más bien, la imagen es cuasipictórica en el sentido de que reproduce gráficamente la información, en vez de describirla de forma discursiva” (*Op cit.* 1996: 108)

El valor o la importancia de las imágenes va mucho más allá del aspecto psicológico porque “...mostrar que la imagen no es únicamente este esquema que se dibuja de una vez por todas, sino que es una herramienta de trabajo susceptible de ser clasificada varias veces y que constituye el más poderoso soporte de la reflexión lógica” (Bertín,1988:19).

Es decir, mediante la elaboración de imágenes, mapas conceptuales u otras representaciones gráficas del pensamiento como las estructuras conceptuales²⁸, puede hacerse que el aprendizaje de tópicos biológicos sea significativo, sea óptimo.

Las representaciones gráficas ayudan a establecer relaciones entre conceptos o interacciones entre conceptos. Se sugiere su uso para dar cuenta de un contenido y explicar cómo cada uno de los conceptos pueden estar interrelacionados, interconectados, jerarquizados u organizados con respecto a otros; de otra forma tendríamos que representarlos mentalmente, y tenerlos presente durante más tiempo con lo que sería más complicado entender dichas relaciones.

Cabe mencionar que a pesar de que se analizarán aquí únicamente las

²⁸ Los conceptos son unidades de significado, bloques con los que está construido el discurso racional. Los que son lógicos tienen coherencia y congruencia, aunque existen proposiciones no lógicas. Cfr. Manher y Bunge, 2000. Fundamentos de Biofilosofía

representaciones gráficas o pictóricas del pensamiento, Grueter (2006) explica que hay al menos dos corrientes de pensamiento sobre cómo representamos ciertos conocimientos: los descriptivistas y los pictóricos.

Los descriptivistas argumentan que las imágenes internas pueden también ser representadas en una forma tan irreductible como declaraciones. De acuerdo con esta teoría cada imaginación mental es tan compleja como un paisaje silvestre barrido por el viento, está hecho de proposiciones, las cuales le dan una subjetividad “como si” se tuviera la sensación de estar viendo una imagen. Por su parte, los pictóricos sostienen que las imágenes mentales son pensamientos que están actualmente representados gráficamente en el cerebro y no en forma de proposiciones.

Desde los años sesenta, los investigadores, psicólogos cognitivos, comenzaron a aseverar que la imaginación mental era una forma de representación distinta de otras. En ese marco, pudiera parecer que las representaciones a través de los modelos mentales no son importantes, sin embargo, la mayoría de las personas cuando no entendemos algo, nos basamos en nuestras creencias y no en nuestros conocimientos, solemos generar modelos alternos o construir modelos pobres o explicaciones que poseen acerca de un tema, y en el plano ideal, estas ideas deberían ser transformadas hacia una interpretación de la realidad, cercana a la interpretación científica.

2.4.4 Dimensión neurobiológica

A lo largo de este apartado se pretende hacer una explicación de cómo entender el proceso de aprendizaje desde una mirada neurobiológica, porque, de la misma manera en que somos conscientes de que el aprendizaje puede darse en un contexto social o individual, dentro de una institución, o poseer ciertas características, no podemos olvidar o dejar de lado que deviene en un sustrato neurobiológico. Y que tal vez, si conocemos parte de la estructura y funcionamiento del cerebro, podemos sobreestimularlo para lograr la interconexión de sus diferentes áreas, y posiblemente crear las condiciones para un aprendizaje más adecuado.

Se abordan aquí al menos las **estructuras o las áreas anatómicas** involucradas en la imaginería mental visual, que tienen que ver con el proceso de aprendizaje. Porque de hecho algunos neurofisiólogos reconocen nuestra naturaleza extraordinariamente visual, no sólo en el proceso de aprendizaje, sino en muchos más. Así, Buurman (2005:165) nos dice que: “Una gran porción de nuestro cerebro se ocupa solamente en el procesamiento de señales visuales para crear una representación de nuestra realidad”.

La enseñanza de cualquier disciplina puede ser entendida desde un enfoque completamente conceptual, e inclusive lingüístico. En ciertas áreas, el lenguaje verbal (hablado o escrito) es la principal vía de aprendizaje. Sin embargo, la hipótesis de este trabajo es que la información visual es fundamental para el aprendizaje de dichos conceptos, dentro de una disciplina científica. En la biología como en otras ciencias, las imágenes pueden ayudar a la imaginación y estimular el pensamiento para comprender, estudiar, o interpretar algún fenómeno, para posteriormente apropiarse de otros conceptos.

De manera que sea en la adquisición, uso u organización de nueva información, de la que pretendemos apropiarnos, es innegable la participación del sistema nervioso con relación a las operaciones mentales. Así, una explicación más completa sobre la memoria, la imaginación y la representación mental, debe tener una base neurobiológica, como parte del funcionamiento del sistema nervioso.

En los próximos párrafos se ofrece una visión panorámica del cerebro, en términos de las estructuras involucradas en el proceso de aprendizaje, luego se brinda una visión resumida de dicho proceso, desde una mirada neurobiológico-tecnológica.

2.4.4.1 El cerebro en el sistema nervioso

Las palabras, las imágenes o cualquier otra forma de la que nos valemos para representar conceptos, son insuficientes para dar cuenta de la extraordinaria complejidad, belleza y misterio que el cerebro encierra, no sólo para el proceso de aprendizaje, sino en innumerables procesos que ahí acontecen. Expreso

complejidad porque su estructura anatómica puede ser interpelada desde los distintos niveles de organización biológica, todos y cada uno significativos.

Por ejemplo, a nivel macroscópico son evidentes los dos hemisferios, izquierdo y derecho, sin embargo un examen más detallado podría centrarse a nivel celular, al pretender describir las neuronas o los tipos de ellas, o bien a nivel molecular, al explicar el papel que desempeñan los neurotransmisores en los procesos de comunicación celular.

El cerebro es misterioso, porque a pesar de las múltiples aportaciones de la investigación neurobiológica y neurocientífica, todavía hay muchísimas interrogantes por responder, algunas de ellas específicamente sobre el aprendizaje.

Con estas consideraciones, de manera muy general, el Sistema Nervioso puede dividirse en dos partes: Sistema Nervioso Central, conformado por la médula y el encéfalo; Sistema Nervioso Periférico que se encuentra compuesto básicamente por los nervios craneales y espinales. Pero, por la brevedad de espacio y tiempo, sólo se abordará el encéfalo.

El encéfalo está constituido por el cerebro y el cerebelo, que están alojados en la bóveda craneana, por arriba de la médula espinal y adoptan una forma de masa ovoide (Cfr. en Higashida, 2005:102).

Específicamente, el cerebro es un órgano extraordinariamente complejo, especializado en su función:

El cerebro es un grupo de estructuras que se asientan en lo más alto de la médula espinal. Las estructuras inferiores se dedican a coordinar funciones corporales básicas (por ejemplo, la respiración, la digestión, los movimientos voluntarios), expresar impulsos básicos (por ejemplo, el hambre, la atracción sexual) y procesar emociones primarias (por ejemplo, el miedo). Las estructuras superiores, las cuales evolucionan después y encima de las inferiores, están más desarrolladas en los seres humanos que en cualquier otro animal. La parte que se desarrolló más recientemente, la neocorteza, es una placa delgada de neuronas que cubre la superficie contornada del cerebro. Es donde se realiza el pensamiento y donde residen tres cuartas partes de las neuronas del cerebro humano (OCDE. 2003:63).

Estructuralmente “La neocorteza se divide en dos hemisferios, el derecho y el izquierdo. Entre ellos una banda de fibras neurales llamada cuerpo calloso funciona como un puente, permitiendo que los hemisferios intercambien información. Cada hemisferio se divide a su vez en lóbulos los cuales están especializados para tareas diferentes...” Entonces a nivel macroscópico, podríamos dividirlo en dos grandes áreas, el hemisferio izquierdo (HI) y el hemisferio derecho (HD) (Figura 2.1).

Sin embargo, otra forma de entender al cerebro para su estudio es la que propone Penrose, (2002:442), quien dice: podemos dividirlo, “...de una manera menos tajante, en una zona delantera con el lóbulo frontal y una zona trasera con otros tres lóbulos: el parietal, el temporal y el occipital”. La figura 2.2, puede ayudar a ubicar espacialmente dichas zonas; sin embargo, otra forma de visualizarlas es la que corresponde a la región frontal del cerebro sería cercana a nuestra frente, mientras que lo lóbulos parietal, temporal y occipital se encuentran ubicados cercanos hacia la columna vertebral.

Cabe mencionar que “... cada lóbulo está subdividido a su vez con redes interconectadas de neuronas especializadas para un procesamiento de información muy específico... Cualquier habilidad compleja... depende de la acción coordinada de varias de estas redes neuronales especializadas localizadas en diferentes partes del cerebro” (OCDE 2003: 64).

El mismo autor indica que “El cerebro y el cerebelo tienen capas superficiales externas relativamente delgadas de sustancia gris y regiones internas mayores de sustancia blanca. Estas regiones de sustancia gris se denominan respectivamente corteza cerebral y corteza cerebelar” (Figura 2.3).

Es evidente que debajo o detrás de los lóbulos parietal, temporal y occipital, se localiza una porción bastante más pequeña y algo esférica denominada cerebelo (Cfr. Penrose 2002:442). De acuerdo con Brailowsky (1992:35) “Las huellas mnésicas se localizan en las células de Purkinje en la corteza del cerebelo”. Las dos maneras estructurales de abordar el cerebro, separado en dos hemisferios o en los distintos lóbulos, tienen implicaciones sobre la forma en que podemos entender el aprendizaje, como se explica a continuación.

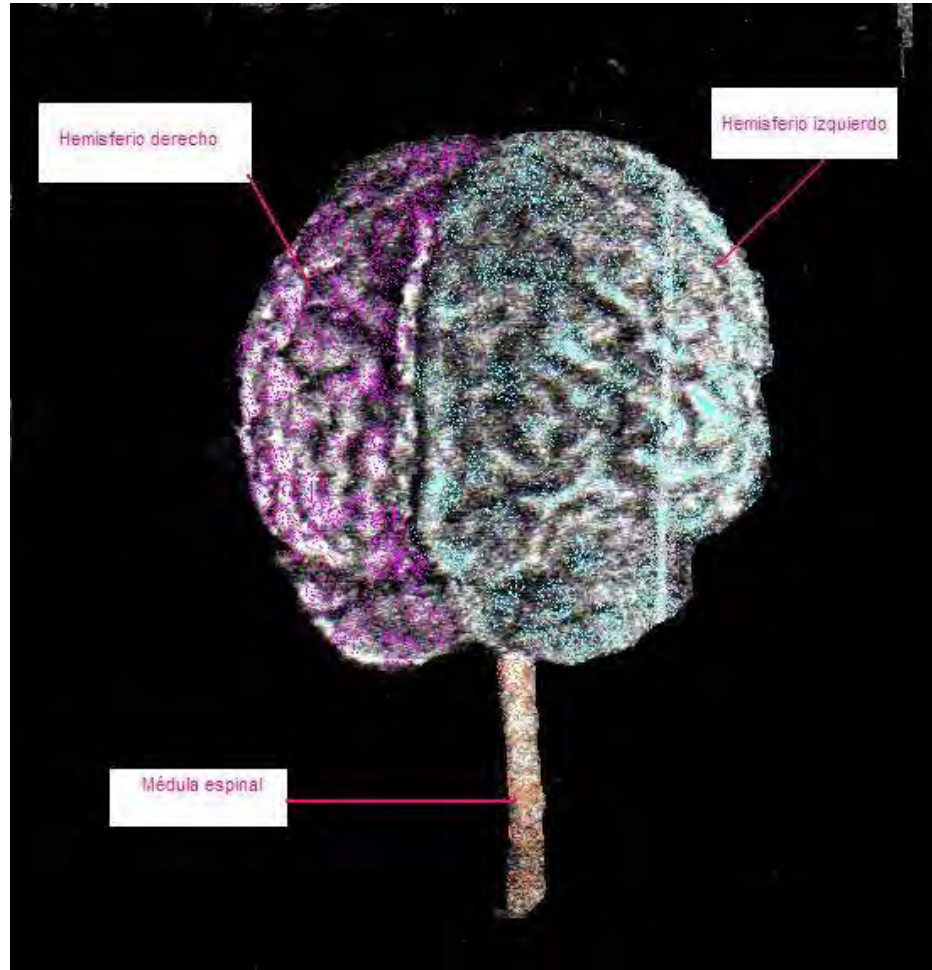


Figura 2.1. Ubicación del encéfalo. Se observan ambos hemisferios cerebrales aparecen en color para destacar su especialización para las distintas habilidades. Modificado de Toga, 1997.

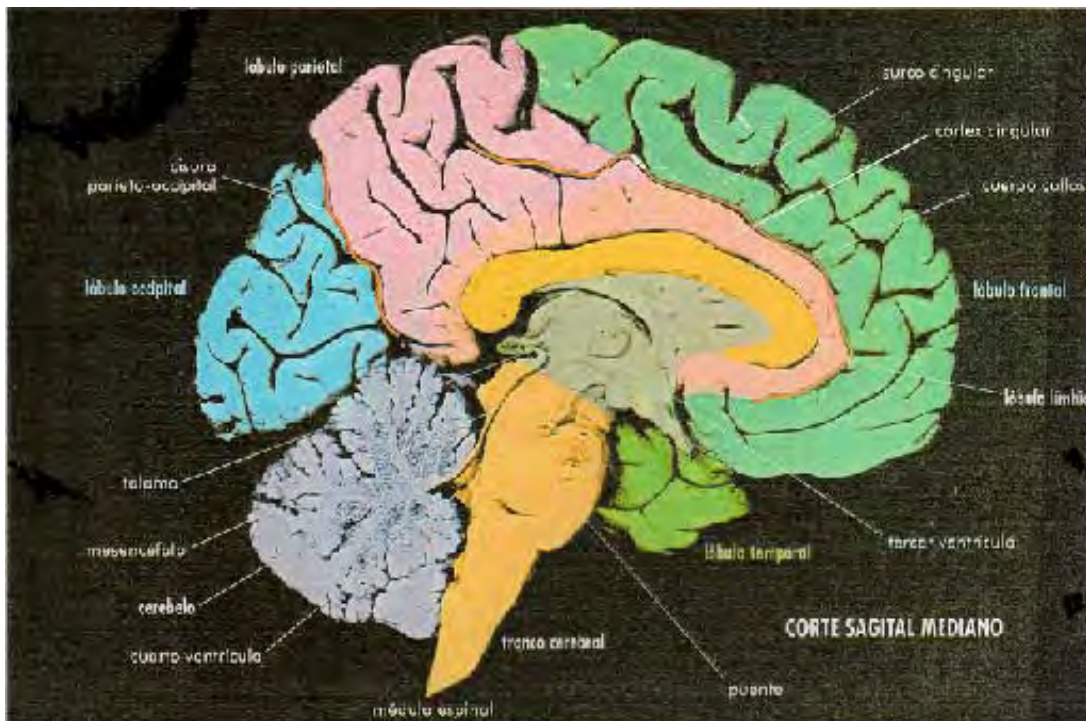


Figura 2.2 Corte sagital del encéfalo. Obsérvese la división anatómica por lóbulos. El lóbulo frontal está orientado hacia la cara de una persona; mientras que el cerebelo se ubica hacia la columna vertebral.

2.4.4.2 Los hemisferios cerebrales:

Por ejemplo, si tomamos como referente la división entre hemisferios, es evidente la gran especialización de ambos, como lo muestran los siguientes autores: de acuerdo con Ortells (1996: 101): "...mientras el Hemisferio Izquierdo parece superior en el procesamiento de información categórica, el Hemisferio Derecho se especializaría en el uso de la información métrica". Nos explica que mientras el HI tiene la función de discriminar, analizar y comprender información o clasificarla; el HD tendría que ver más con el uso que se haga de la información proveniente de mediciones.

Por ejemplo Buzan y Buzan 1996, explican que el hemisferio derecho contiene la información del ritmo, la percepción, la imaginación, la creatividad y la dimensión, entre otros, mientras que en el hemisferio izquierdo se localizan los sitios del lenguaje, la lógica, las matemáticas, la linealidad y los tiempos.

Otro aspecto interesante es el que nos plantea el neurofisiólogo Aréchiga (2001:217) quien expresa: "En general, las elaboraciones que se producen en el hemisferio dominante son más analíticas, mientras que las del derecho son más intuitivas, Eso sugiere, pues, que la representación consciente es más la función del hemisferio izquierdo que la del derecho". La intuición aquí es entendida como la expresa Herbert Simon en Myers 2007: "is nothing more and nothing less than recognition", "es nada más y nada menos que identificación".

Sin embargo, la separación en Hemisferios no sólo tiene que ver con el procesamiento o la intuición, también influye en la lateralización del cuerpo y por supuesto de la visión. Penrose (2002:443) señala: "Es el hemisferio cerebral derecho el que está relacionado casi exclusivamente con el lado izquierdo del cuerpo, mientras que el hemisferio cerebral izquierdo está relacionado con el lado derecho del cuerpo, de modo que prácticamente todos los nervios deben cruzar de un lado a otro cuando entran o salen del cerebro".

Esta lateralización y su significado es más evidente en un experimento realizado por Aréchiga (2001:217), quien describe la siguiente experiencia: "...si se ve un objeto con un solo ojo, y se adiestra al paciente a atribuirle alguna significación, cuando se

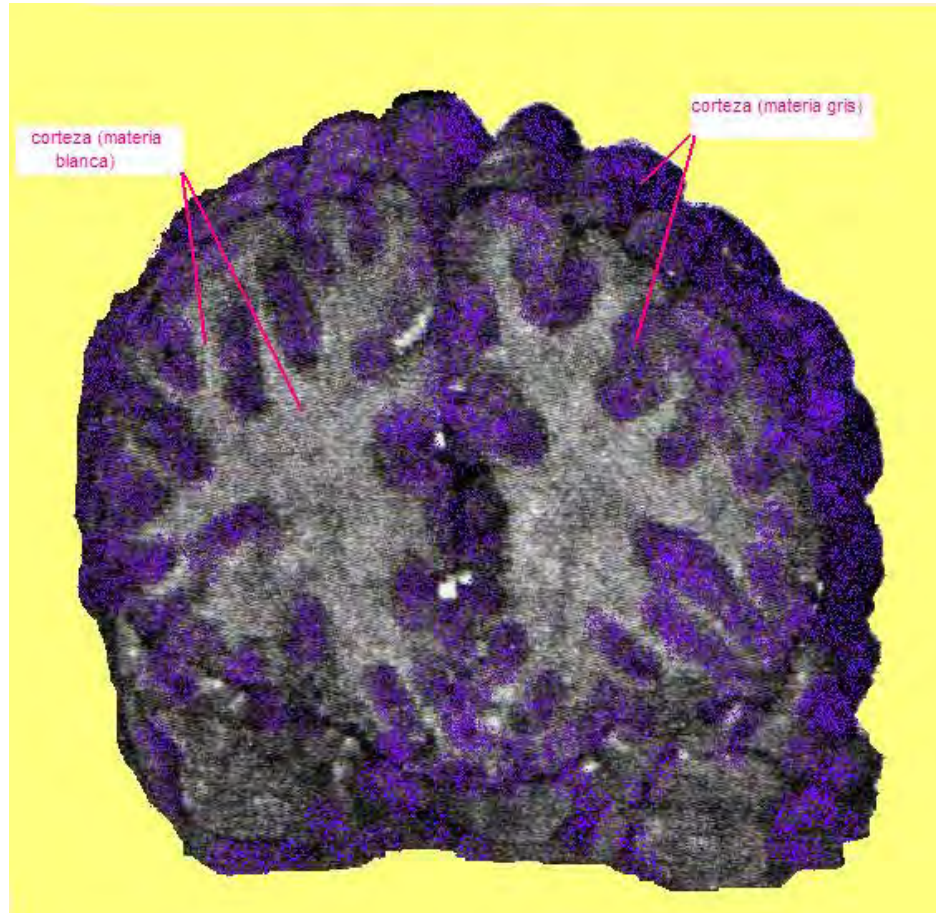


Figura 2.3 La materia gris y la materia blanca. La primera está constituida por los cuerpos celulares de las neuronas, mientras que la segunda, viene representada por las fibras mielinizadas. Modificado de Toga, 1997.

presenta el mismo objeto al otro ojo carece de significado; es decir, toda la información quedó almacenada en un solo hemisferio”.

A pesar de que se han hecho cirugías donde para mantener la salud de los pacientes con cierto tipo de epilepsia, se extrae el cuerpo calloso para separar ambos hemisferios; cada hemisferio puede comportarse como si se tratara de cerebros independientes. Según Sperry (en Aréchiga 2001), “la cirugía ha dejado a estas personas con dos mentes separadas; es decir, con dos esferas mentales aisladas “Desde los primeros estudios en pacientes con sección del cuerpo calloso, se hizo evidente que había muchas diferencias en las operaciones intelectuales que integran los dos hemisferios (Aréchiga 2001:217).

Sin embargo, lo normal es que ambos hemisferios interactúen y se comuniquen. Así, para explicar cómo sucede la imaginación, Kosslyn y sus colaboradores (1989 en Ortells, 1996:100) “demuestran que en contra de lo que se había pensado, ningún hemisferio cerebral es responsable de la capacidad imaginativa. Ambos hemisferios tendrían la misma capacidad para generar imágenes globales y para construir secuencialmente imágenes de objetos”.

2.4.4.3 Los lóbulos frontal, temporal, occipital y el hipocampo

Las representaciones mentales son nuestra manera de dar forma y entender el mundo. En este apartado se analiza que, para llevar a cabo tal tarea, otra forma de entender la estructura del cerebro es atender a su separación en lóbulos. Es interesante señalar que la información para entender cuan especializados están cada uno de ellos ha provenido de una enorme cantidad de estudios de distintos tipos, y que paulatinamente se han ido detectando, en el tiempo, cada una de las funciones desempeñadas por cada área implicada en la imaginería mental visual, la memoria y el aprendizaje

Para entender el cerebro a través de la división por lóbulos se dispone de una diversidad de técnicas no invasivas, esto es que no causan lesiones en él; sin embargo otra posibilidad deriva de las personas que han sufrido daño en áreas cerebrales específicas, lo cual ha traído luz sobre el funcionamiento altamente

específico y especializado de algunas de ellas, así como de sus implicaciones e importancia.

Una hipótesis que comparto con Paivio es: “La suposición general fue que el desempeño de la memoria pudiese ser mediado por imágenes no verbales aún cuando la información para ser recordada fue verbal”. Esa es la intención de este apartado, mostrar el papel de las imágenes en la estimulación de la memoria, y por ende del aprendizaje.

Así, una evidencia de que el sustrato fisiológico de la memoria radica en la corteza cerebral, fue posible gracias a estudios como el de Goltz (1834-1902 en Aréchiga 2001:212), quien “...provocó la pérdida de memoria en animales de experimentación mediante ablación cortical total”; ablación se refiere a cortar y quitar completamente un órgano, aquí se hace referencia a quitar la corteza.

En ese sentido, Penrose (2002:443) destaca que “Diversas partes de la corteza cerebral están asociadas con funciones específicas. La corteza visual es una región en el interior del *lóbulo occipital*, justo en la parte trasera del cerebro, que está relacionada con la recepción e interpretación de la visión”.

La participación del lóbulo occipital fue estudiada por Haxby Gobinni y Montgomery (En: Gazzaniga 2004:890) quienes en estudios de imagen funcional identificaron qué regiones del lóbulo occipital fueron activadas durante la percepción de rostros, color, y forma”. Es decir, regiones del lóbulo occipital participan en la identificación de objetos considerando su color, tamaño y forma.

Los autores mencionados destacan la gran especificidad en el reconocimiento de objetos y la localización de los mismos en la corteza, en el área del *lóbulo occipital*. Por ejemplo, cuando requerimos el reconocimiento de objetos en general, o muy específicos como rostros u otros objetos.

Pero además del *lóbulo occipital*, algunos estudios han demostrado que otros lóbulos participan en la percepción visual. “Estudios anatómicos y electrofisiológicos en monos han conducido a una multitud de áreas en los *lóbulos occipital, parietal y*

temporal que están implicadas en el procesamiento de la información visual”, que tienen áreas de equivalencia en los seres humanos (Cfr. Purves 2001: 270).

Ganis (en Gazzaniga 2004:142) nos explica al respecto: “Desde luego, la zona visual primaria no es el único sitio de la corteza en el que se integra la información visual”. “En algunas regiones está cifrada especialmente la información de movimientos, en otras, de color, y cuando se registra activación metabólica neuronal durante la percepción de una imagen visual, mediante técnicas no invasivas como la tomografía por emisión de positrones o la resonancia magnética nuclear son muchas las zonas de la corteza en las que se detecta aumento de actividad”. Esto quiere decir que a partir de una imagen visual estamos estimulando muchas áreas de la corteza cerebral.

La especificidad del lóbulo temporal es descrita por “Penfield y colaboradores (1891-1976) ...al estimular diferentes regiones de la corteza cerebral en voluntarios, localizaron en el *lóbulo temporal* una zona cuya estimulación eléctrica evocaba escenas completas de la vida del sujeto; en ocasiones traían a la mente acontecimientos familiares ocurridos muchos años atrás en la infancia...” “La región del *lóbulo temporal* que genera estas evocaciones con mayor viveza es precisamente el *hipocampo*” (En: Aréchiga 2001:212).

Además de los autores anteriormente citados, sobre el papel del hipocampo en la evocación de los recuerdos, como el sitio probable donde ellos se almacenan, Purves (*et al.* 2001:673) atrae nuestra atención al hecho de que, además de la *línea media* y el *lóbulo temporal* es – el *hipocampo*, en particular – el que participa en establecer nuevos recuerdos declarativos”. Una relación entre el daño al hipocampo y la amnesia²⁹ es explicada por “Lanshley (1890-1958) quien dice que la “... deficiencia de retención es proporcional a la cantidad de corteza extirpada en

²⁹ Aunque el olvido es normal y un proceso esencial de nuestro cerebro, existen casos de tipo patológico a los que se les denomina amnesia. Purves, et al. 2002, en su capítulo sobre la Memoria humana hace la distinción entre dos tipos de amnesia, la amnesia anterógrada que es la incapacidad de establecer memorias o recuerdos nuevos, y la amnesia retrógrada, la dificultad de recuperar recuerdos previamente establecidos. En ese mismo texto se mencionan algunos casos clínicos que dan cuenta de los lugares donde puede estar presentándose una u otra amnesia, o ambas.

intervenciones quirúrgicas se ha descrito amnesia por lesión selectiva de una región de la corteza, el hipocampo” (En: Aréchiga 2001:212).

Otro aspecto interesante que es el que propone Ganis (en Gazzaniga, 2004:932), quien plantea que la neurociencia cognitiva de la imaginería mental visual está basada en dos principios:

“El primer principio es que muchos procesos son usados en común durante la imaginería visual y la percepción visual...”.

“El segundo principio, implicado en el primero, es que la imaginería es el resultado de la operación de multitud de subprocessos”.

Este autor destaca que aunque es un tema polémico, muchas de las investigaciones han sido diseñadas para descubrir si imaginería visual y percepción visual comparten procesos comunes. Esta investigación se ha centrado en descubrir si las áreas visuales tempranas en el lóbulo occipital están involucradas en la imaginería mental visual. Parece que una fuerte evidencia neurobiológica permite suponer que esta capacidad de imaginería mental visual depende de las representaciones pictográficas.

2.4.4.4 Resumen del proceso de aprendizaje desde la dimensión neurobiológica

A partir de una serie de estímulos externos o internos, que captan la atención de un individuo, se pueden activar los órganos de los sentidos, quienes registran los cambios que se dan en el ambiente. Los estímulos son variados, como: una lectura, percibir la modificación de la temperatura ambiente, ser atraídos por una imagen, entre muchos otros. Éstos a su vez, activan senderos neuronales específicos en el cerebro, a través de sendas bioelectromagnéticas que transforman los datos perceptuales en procesos atencionales, que suelen ser conscientes o inconscientes. Ahora bien, con base en la experiencia perceptiva y la información almacenada en la memoria, se genera, además de representar mentalmente lo que está sucediendo en el “mundo exterior”, la posibilidad de imaginar; lo cual nos permite modelar y construir nuevas experiencias para interpretar y entender al mundo, inclusive simular y predecir procesos. De ahí, la información más importante es seleccionada y almacenada en la memoria de largo plazo. A partir de ese momento es posible

recuperarla, trabajar con ella, jerarquizarla o analizarla y el resultado es el aprendizaje, el cual puede ser visible a través de cambios de conducta, toma de decisiones, o acciones, entre otros. Claro está, si el interés y el cansancio le permiten a un sujeto estar atento a lo que se le está proponiendo. A continuación se describirán algunos de los procesos cognitivos implicados en el aprendizaje:

Como se puede observar en la Figura 2.4, asumiendo que un sujeto no está cansado ni aburrido, podemos entender que para que lleve a cabo el aprendizaje, un estímulo ambiental (imagen, lectura o información) capta su atención y a través de sus sentidos, estos datos perceptuales activan senderos neuronales hacia el cerebro. A nivel de la corteza cerebral, se evoca la experiencia perceptual que se encuentra almacenada en la **memoria sensorial (verbal, visual o oíca)**; desencadena a su vez eventos internos específicos, de los cuales, uno de ellos es el proceso atencional, que permite que la percepción sea construida. Es decir podemos discriminar entre toda la gama de estímulos que nos están llegando, a través de los órganos de los sentidos, provenientes del exterior y centrarnos, a voluntad, en los que consideramos más importantes. Esa selección de información permite el paso de la memoria de corto plazo a la de largo plazo, a través de la preparación (ver el apartado de memoria de este capítulo). En nuestra memoria radica la posibilidad de imaginar, representar, modelar e interpretar el mundo. Con ello se construyen nuevas experiencias que quedan almacenadas en lugares muy especializados y específicos, ya sea a nivel de corteza o de las neuronas. Luego en el tiempo, un sujeto puede recordar, recuperar o reconocer información y aplicarla a situaciones específicas.

Como puede verse, escribir sobre un tema tan apasionante y complejo, no es fácil. La intención es llamar la atención hacia aspectos interesantes del proceso, que podrían ser una “mina” para los investigadores de las áreas neurobiológica y pedagógica que estén interesados en el aprendizaje, desde esta mirada, y que valdría la pena dedicarles algún tiempo; cierro esta parte neurobiológica con los siguientes cuestionamientos:

¿Cuál es la participación de las células especializadas de la retina y su conexión con las células de la corteza? ¿Si ellas están especializadas en la detección de color,

movimiento, textura o forma? ¿Qué es lo que sucede a nivel celular con nuestras neuronas? Porque, "...parecería que la composición de una imagen visual compleja es producto de la activación simultánea –“en paralelo”- de grandes conjuntos de neuronas en distintas zonas del cerebro, y que la experiencia subjetiva es el producto de la lectura simultánea de todos esos análisis” (Aréchiga 2001:143).

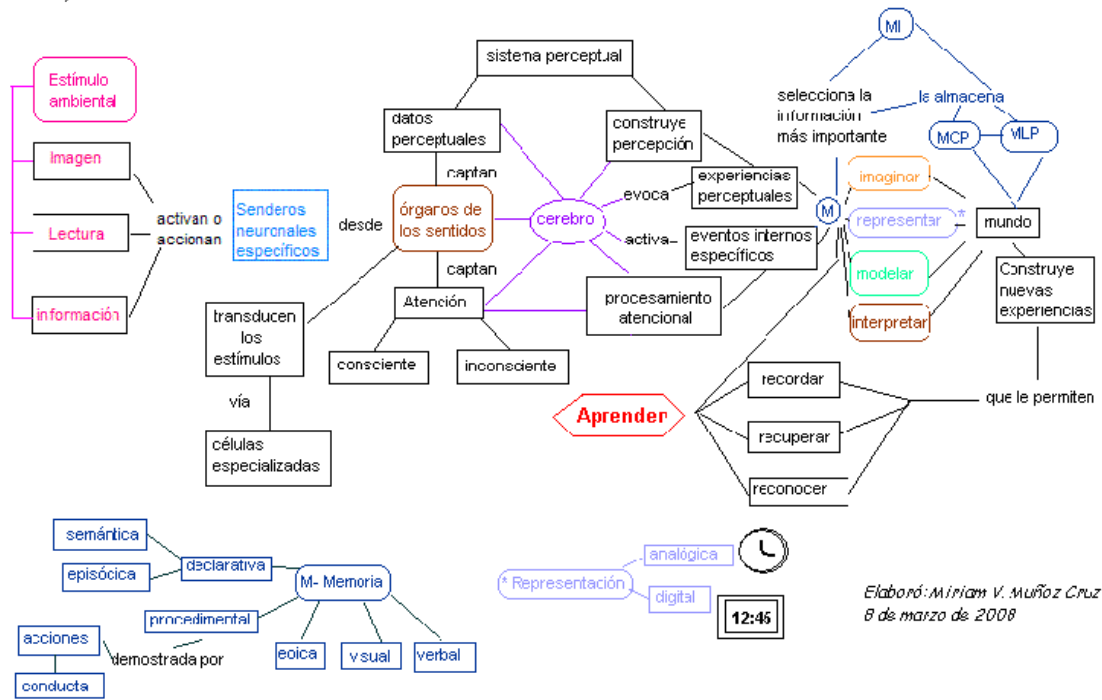
¿Qué circuitos neuronales se activan mientras observamos movimiento, color o tridimensionalidad de objetos en la computadora y si estas mismas áreas de la corteza, corresponden o son similares a las que se “encienden” cuando usamos lápiz y papel, o gis y pizarrón? Por otra parte, en experimentos realizados con ranas se ha podido constatar que son capaces de detectar y responder al movimiento de un objeto, entonces, ¿de qué no seremos capaces nosotros?

¿Será cierto que como la actitud consciente requiere activar grandes complejos neuronales, y que nuestra capacidad cognitiva dependerá entonces del número de neuronas de las que disponemos? ¿Habrán diferencias a nivel de cerebro y del aprendizaje entre hombres y mujeres? Y si es cierto ¿Tendríamos que idear estrategias diferenciales?

2.4.5 Dimensión ética

Es interesante ver como la dimensión ética atraviesa a las otras dimensiones. Por ejemplo desde la disciplina misma ¿Dónde se va a ubicar el docente de biología actual? Del lado de los que piensan que sólo la disciplina es importante y debe enseñarse como neutra, descontextualizada, sin consecuencias, un poco al margen de los usos que del conocimiento biológico se generen. Mantenerse a un lado de estas cuestiones implica considerar que los estudiantes serán únicamente, futuros consumidores pasivos de productos de la investigación científica de otros países, en lugar de ofrecerles la posibilidad de ser gestores de nuevos productos o de sus propios conocimientos, los cuales pueden ser pensados desde la ética. O mejor aún sean ciudadanos que puedan cuestionar las aplicaciones que se hagan de la ciencia y la tecnología.

Si el sujeto no está cansado o aburrido...



Elaboró: Miriam V. Muñoz Cruz
8 de marzo de 2008

Figura 2.4. Resumen del proceso de aprendizaje desde una mirada neurobiológica. M significa memoria, MI memoria inmediata, MCP memoria de corto plazo, MLP memoria de largo plazo, y el * nos envía a dos tipos de representación analógica y digital.

Específicamente con relación a nuestros estudiantes “La primera convicción es que toda persona, también los jóvenes, tienen dignidad y no precio...significa que toda persona es capaz de autonomía o gobierno por sí misma y que es inmoral tratarla como una cosa que tiene precio o usarla para conseguir un fin distinto a ella misma” (Escámez y Gill, 2001).

Estos autores indican que la autonomía tiene que ver con los pensamientos propios, de los que uno puede darse cuenta, y distinguirlos de los impuestos; lo cual nos traslada también al campo de la toma de decisiones; si soy consciente de mis pensamientos, puedo ser responsable de mis decisiones o mis actos y ejercer mi voluntad.

Así, es ideal pensar en nuestros estudiantes desde esta mirada ética, proveerles de ambientes donde además de la tecnología, la biología, la neurobiología, la psicología y la didáctica, prive la ética. Puedo decir que ninguno de estos campos, ni otros que no se mencionan aquí son completamente neutros, de ahí que en nuestra función docente tenemos la obligación de mostrar ambas caras de la moneda, de manera que los estudiantes se apropien desde una mirada crítica de los conceptos o los contenidos que pretendemos mostrarles.

Por ejemplo, Lipovetsky (1992) en su libro “El crepúsculo del deber”, desarrolla el tema de la Bioética y la democracia, en él habla de algunas de las biotecnologías actuales como la fecundación artificial, la ingeniería genética, los trasplantes, el diagnóstico prenatal, así como de los riesgos potenciales asociados a ellos: la eugenesia, el biopoder y la deshumanización, con lo que se establece el contraste entre ambos aspectos, positivos y negativos.

En ese entendido, este trabajo pretende generar una aplicación tecnológica atendiendo a esa dualidad, pero también a la autonomía de los estudiantes, la cual es fundamental por los graves problemas que aquejan a nuestro mundo, pero no sólo eso, sino intenta tener presente la repercusión en las futuras sociedades, a las que tenemos la responsabilidad de formar.

Por otro lado, también la ética toca a la tecnología, por la importancia que ella tiene en el contexto actual. Nos encontramos “en un tiempo en que la ciencia y la tecnología no son sólo motores de la Sociedad, sino formas de ver y entender el mundo y la vida” (Esquirol 2006:11). Este planteamiento toma un alcance mayor cuando este autor afirma que hay suficiente evidencia para pensar que “con la confluencia de tecnologías de la información, la informática y la biotecnología, se está ante un cambio social político, económico y cultural de gran relevancia” (*Op cit*, 2006:31). Del cual, ni los docentes ni los estudiantes, debemos ni podemos sustraernos, si es que no queremos permanecer “relegados” del contexto actual, lo cual nos obliga a volver la mirada hacia la educación.

Jonas (2004:15-16) plantea el hecho de que la tecnología sin crítica, ni ética es una amenaza latente para las sociedades al expresar: “La tierra virgen de la praxis colectiva en que la alta tecnología nos ha introducido es todavía, para la teoría ética, tierra de nadie”. En párrafos posteriores explica que el hombre en estas condiciones tiene que garantizar su existencia futura, “Con desmesurados riesgos, la aventura tecnológica obliga a este otro riesgo de la más extrema reflexión”.

Por otra parte, un último aspecto que habrá de atenderse en este trabajo es la ética de la imagen, es decir muchas de las imágenes que observamos no son neutras, pueden tener alguna información pasa desapercibida, pero que sin embargo está llegando a nivel de nuestro inconsciente, y afecta nuestro comportamiento e inclusive nuestra decisión, aún en contra de nuestra voluntad. Esta situación deberá tenerse presente al diseñar ambientes de aprendizaje o inclusive en aplicaciones tecnológicas más sencillas.

2.4.6 Dimensión tecnológica

Aún cuando esta sección se denomina Dimensión Tecnológica, se explicará en los párrafos siguientes cuál es el concepto de Tecnología con el que se identifica esta tesis; este apartado ofrece algunas sugerencias de cómo podría ser abordado el tema de la estructura de la célula desde la mirada tecnológica. Por ello se explicarán aspectos relativos a las computadoras como herramientas de la mente, el papel de

las herramientas de visualización, las simulaciones, las MiniQuest, los LMS y el e-portafolio.

El nombre de Dimensión Tecnológica es en el sentido de Kurzweil, (2000: 31) quien opina que “La Tecnología va más allá de la mera invención y utilización de herramientas. Implica un registro de producción de herramientas y un progreso en la sofisticación de éstas”.

Sin embargo, de acuerdo con Sarramona (1990:13) debemos ser conscientes de que “...la tecnología aún va más allá, superando la simple aplicación del saber. La tecnología incluye, pues, dos elementos básicos el hacer (se trata de una práctica) y la reflexión teórica del hacer (el saber)”. Este autor es crítico y nos hace ver que el actuar tecnológico ni es el mejor, ni es el único, pero además no excluye a otras formas de actuar.

Para determinar las posibilidades y limitaciones del hacer tecnológico, propone las siguientes dimensiones epistemológicas:

- I) Racionalidad. Las decisiones de actuación han de tener justificación razonada, explicable por argumentos no meramente subjetivos, sino compartidos y verificables; esto es, argumentos científicos.
- II) Sistematismo. Los elementos que intervienen en el proceso son contemplados en sí mismos y en relación con los demás, de manera que se pueda advertir la situación en su conjunto. Por eso las decisiones que se tomen sobre un elemento del conjunto afectarán siempre a los restantes y a las consiguientes interacciones.
- III) Planificación: La tecnología demanda un proceso anticipatorio del actuar mismo. Es lo que conocemos como “planificación”, con lo cual se pretende evitar sorpresas previsibles con los conocimientos de que se dispone. La planificación supone actuar opuesto a la improvisación.
- IV) Claridad de las metas. Sin propósitos claros no sería factible la anticipación de las acciones que implica la planificación indicada, ni habría la posibilidad de controlar el proceso y la eficacia de los resultados (Sarramona *Op. cit.* 14).

Más concretamente, Ruíz - Velasco (2007:2) nos dice que las “Tecnologías de la información y la comunicación es el nombre que reciben las máquinas que procesan información: teléfono, computadoras, grabadoras, videograbadoras, faxes, moduladores - demoduladores (módems), escáners, etc.

Particularmente, el interés tecnológico de este trabajo de investigación está centrado, en lo que Jonassen (2006) llama “medios para pensar o las computadoras como herramientas de la mente”. Dentro de este grupo se incluyen las herramientas de organización semántica y de interpretación de información, que son representaciones visuales que apoyan en la producción de mapas conceptuales entre otros medios para organizar información, donde se da la posibilidad de interconectar ideas, para analizar y entender relaciones estructurales en una constelación de conceptos de un cierto contenido que se estudia. Y que permiten representar y comunicar imágenes mentales, es decir, volver concreto lo que es abstracto.

Puede decirse entonces que la Tecnología nos ofrece un “menú intelectual” muy variado, de posibilidades de uso infinitas, para potenciar las habilidades de la mente. Lo cual es fundamental en el contexto actual donde podemos sinergizar nuestra actividad docente, desde la tecnología y con una mirada reflexiva, no sólo de manera individual, sino colectiva.

Desde esta perspectiva social y en palabras de Pierre Lévy (2008:1) “La inteligencia colectiva (IC) es la capacidad de los grupos humanos para participar en cooperación intelectual para crear, innovar e inventar... es un factor determinante en agresividad, creatividad y desarrollo humano, en una economía de crecimiento”.

Desde la perspectiva pedagógica, Jonassen (2006) enfatiza las necesidades básicas de los estudiantes que están siendo cubiertas al emplear tecnología, si se trata de un ambiente constructivista: hacer el aprendizaje relevante con tareas en situaciones educativas significativas, auténticas o altamente visuales, resolver problemas requiriendo que los estudiantes se asuman más activos que pasivos. Trabajar en actividades de aprendizaje cooperativo y comprometer a los estudiantes en habilidades de alto y bajo nivel simultáneamente.

Además, si pensamos en el currículo, el autor nos indica que al lograr que los estudiantes demanden el uso de medios electrónicos para resolver una situación educativa concreta, como los programas que a continuación se muestran, es alcanzada una integración media de la tecnología.

Como lo menciona Ruíz - Velasco (2003) “El desafío es generar un espacio informático como ambiente de aprendizaje más rico y complejo que favorezca operaciones mentales complejas, un alto nivel de reflexión, habilidades sociales y de autoconocimiento”.

En esa consideración, Mandón y Marpegán (2000) nos hablan de la necesidad de la cultura tecnológica, en donde la alfabetización no estaría limitada solamente a reproducir saberes académicos, sino que “tendría como objetivo contribuir al desarrollo de capacidades complejas y competencias”. Entre otras capacidades que mencionan se destacan: aquellas que son creativas para transformar la realidad mediante el diseño eficaz, así como la de ser consumidores responsables y usuarios inteligentes.

Entonces, lo que

...las herramientas tecnológicas deben brindar al aprendizaje no es el de intentar la instrucción de los estudiantes, sino, más bien, el de servir de herramientas de construcción del conocimiento, para que los estudiantes aprendan con ellas, no de ellas. De esta manera, los estudiantes actúan como diseñadores, y los computadores operan como sus Herramientas de la mente para interpretar y organizar su conocimiento personal Jonassen (2006: 6-8).

Por ejemplo, para Mitchel (2002): cuando la cognición humana interactúa con las máquinas, asegura la definición de principios y garantiza la validez ergonómica, o de adaptación de ambos. De manera que garantiza un tratamiento inteligente de la información, porque se establecen las condiciones óptimas de interactividad con la arquitectura de los modos de funcionamiento del sistema humano. Ruíz - Velasco (2003) comenta que la importancia es mayor porque permite un diálogo constante entre el autor y el lector, para lograr la interactividad cognitiva.

2.4.6.1 Herramientas de visualización

Como señala Jonassen (2006): aunque todavía no es posible descargar nuestras imágenes mentales directamente de nuestro cerebro a un computador, hay una clase de herramientas de visualización que están mediando en este proceso, y que permiten razonar visualmente en ciertas áreas. Según Pierre Lévy, en su capítulo del Tiempo real, “La visualización funciona como un módulo externo que complementa la

capacidad de imaginar, así, “Nuestro poder de simular mentalmente los movimientos y reacciones posibles del mundo exterior no permiten anticipar las consecuencias de nuestros actos”. En ese sentido, “la imaginación es la condición de elegir una decisión deliberada”. Y los programas pueden ayudar a crear un tipo de imaginación asistida por computadora. Ésta última es importante en situaciones abstractas como las relativas a conceptos científicos.

Las herramientas de visualización ayudan a las personas a representar y comunicar esas imágenes mentales, no en la misma forma en que se generan mentalmente, sino como aproximaciones amplias a esas imágenes mentales. No existen herramientas de visualización para todos los propósitos. Tienden a ser específicas para las clases de objetos visuales que se quieran generar. Estas herramientas vuelven real lo que es abstracto para los estudiantes, ayudan a comprender conceptos que son difíciles de comunicar en presentaciones visuales estáticas, como lo serían los libros de texto, los acetatos u otros medios. Diversos recursos provenientes de la Internet pueden apoyar la práctica cotidiana. Por ejemplo, si un estudiante, no tiene un referente en su realidad de algún fenómeno en estudio, ya sea por la escala involucrada, espacial o temporal, él lo va a memorizar sin conexión con otra información que ya posee o que pudiera estar articulando. Por lo que no habrá manera de que asimile el nuevo conocimiento.

En ese sentido, la tecnología puede ser un apoyo invaluable para producir conocimiento. Particularmente, “la informática es una herramienta de indudable valor para el investigador. Entre sus múltiples aplicaciones encontramos la gestión de grandes bases de datos (proyecto Genoma), análisis y procesado de imágenes, simulación biológica...”³⁰. Específicamente la simulación contiene dos clases de estructuras de datos, una “matriz superficial, que representa la imagen propiamente dicha, y unas listas en la memoria a largo plazo que representan la información utilizada para formar imágenes (Ortells 1996:128). La imagen propiamente dicha es una configuración de puntos sobre una matriz, hace referencia a un espacio visual, que es el soporte de las representaciones que subyacen a la experiencia de ver durante la percepción. En el siguiente apartado se verá el papel de la simulación.

³⁰ <http://www.biologia.org/> Revista de Biología en línea.

2.4.6.2 Simulaciones

Con respecto a la simulación, encontramos la siguiente explicación en la red:

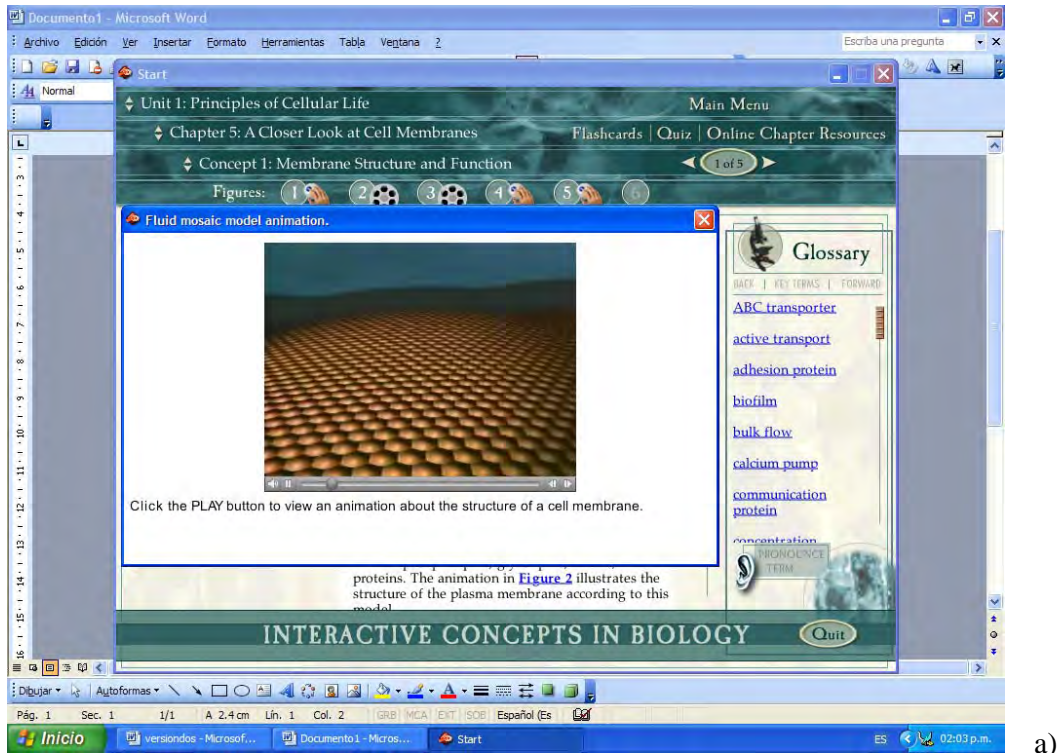
Simular un proceso mediante un ordenador nos proporciona una serie de ventajas, como poder examinar en unos segundos un proceso que dura millones de años (o, al revés, permitirnos ver durante algunos minutos una reacción producida en femtosegundos, pudiendo examinar los procesos allí desarrollados), nos permite someter a una población a unas situaciones difíciles de encontrar en la realidad (por ejemplo, provocando una contaminación en un bosque), conocer cómo pueden reaccionar unas células a un determinado tratamiento, etc...³¹.

Para el tema aquí analizado, una posibilidad que se vislumbra y que inclusive ha comenzado a generarse es el desarrollo de células virtuales o el entender procesos moleculares a través de las simulaciones (Véase figura 4.5). En primera instancia porque están basados en aspectos experimentales y en modelos matemáticos. Dichas simulaciones promueven un aprendizaje activo de nuestros estudiantes, porque pueden ver de cerca la estructura y función celular, de manera tridimensional y dinámica, en el sentido del movimiento y colaboración entre cada uno de los organelos subcelulares, de manera similar a lo que ocurre en laboratorios de biología celular con tecnología de punta.

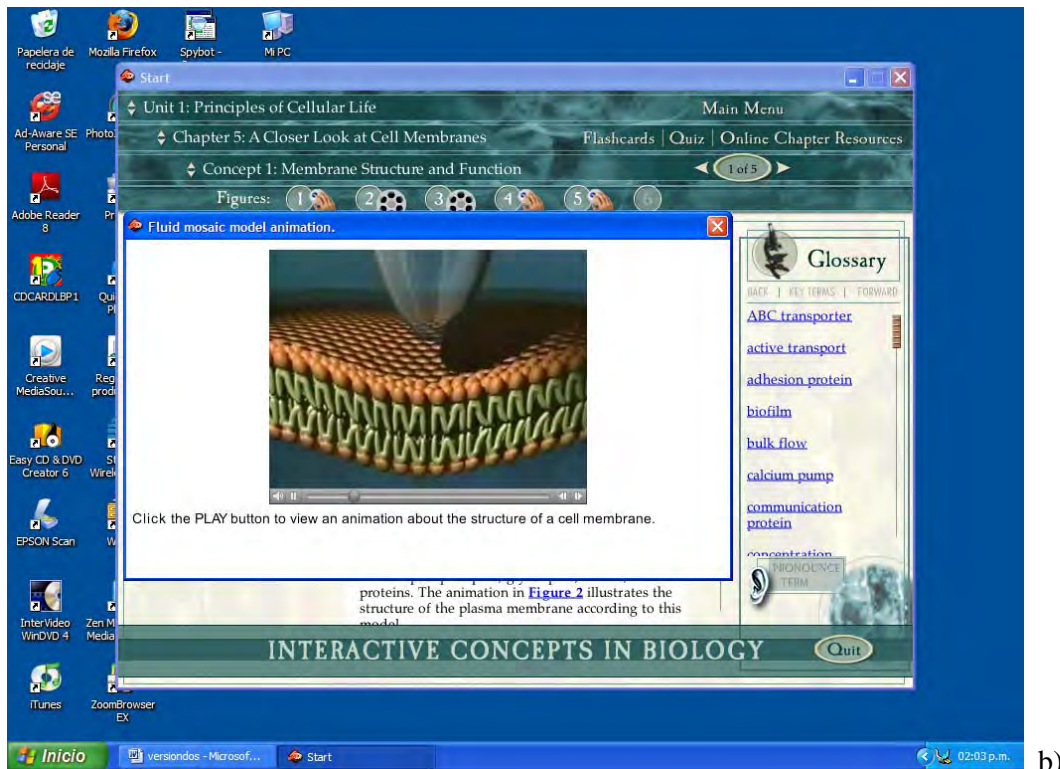
Las simulaciones permiten recrear aspectos que son difíciles de percibir como un todo, con muchas ventajas, de manera dinámica, reproducirlas el número de veces que sea necesario, y dar cuenta de procesos. De acuerdo con lo que se comentó en la dimensión neurobiológica, la simulación permite una mayor estimulación de la neocorteza cerebral, favoreciendo la interacción de los dos hemisferios cerebrales.

En esta era, producto del uso y producción de imágenes digitales y de la proliferación de aparatos de mayor resolución (microscopios y telescopios), existe una mayor posibilidad de registrar digitalmente y con mejor calidad simulaciones, modelaciones y análisis estadísticos que en épocas anteriores (Cfr. Köpen, 2007:41-46). Finalmente: "Representar conceptos abstractos como acciones, tiempo, objetos físicos y creencias es llamado Ingeniería ontológica" (Russell y Norvig, 2003:320).

³¹ <http://www.biologia.org/> ibid.



a)



b)

Figura 2.5. Simulación de la membrana plasmática. Dos pantallas muestran una de las estructuras que se repiten en la membrana, son parecidas a esferas de color café con dos cadenas de color gris, representan a los fosfolípidos de las membranas celulares. En a) se aprecia un panorama general de la membrana y en b) su deformación por un objeto. Tomado del libro electrónico de Starr y Taggart, 2004.

2.4.6.3 MiniQuest

Una estrategia propuesta por Bernie y Dodge en la Universidad de San Diego, permite integrar un uso racional de Internet con el aprendizaje de los estudiantes, una serie de actividades educativas basadas en el uso de la red. “El objetivo fundamental de las WebQuest es lograr que los estudiantes hagan un buen uso del tiempo y se enfoquen en la utilización de la información más que en buscarla” (Bernie y Dodge 2002:1)

De acuerdo con dichos autores la WebQuest se compone de seis partes esenciales: Introducción, tarea, proceso, recursos, evaluación y conclusión. Una versión reducida de la WebQuest es la MiniQuest que simplifica este uso de la red a tres pasos: escenario, tarea y producto.

El escenario puede ser una introducción atractiva o un problema a resolver por los estudiantes. A partir de él se asigna una tarea concreta, donde pueden incluirse ligas a distintos sitios de Internet que ya fueron revisados y evaluados por el profesor; para en la parte final, los estudiantes puedan generar un producto concreto, que puede ser un ensayo, un mapa, un cartel, o convencer a una audiencia, entre otros.

Como tareas los autores proponen más de 50 tipos de tareas diferentes, dentro de una tareonomía muy completa, donde se incluyen por ejemplo: tareas de recopilación, de misterio, de construcción de consenso, de persuasión, científicas, entre otras³².

Un punto posterior a resolver radica en dónde alojar los materiales que se generen del uso de los programas anteriormente citados. A continuación se comentan dos posibilidades los LMS y el portafolio electrónico, asumiendo que hay otras opciones de publicación de la información como los blogs o los wikis, por citar algunos.

³² Para mayor información se pueden consultar las páginas <http://edweb.sdsu.edu/webquest>, la cual trata sobre las webquest y las miniquist y sobre la tareonomía la página <http://edweb.sdsu.edu/webquest/taskonomy.html>. Páginas revisadas en enero de 2008 por Miriam Muñoz

2.4.6.4 LMS

El LMS (Learning Management System o Sistema de Gestión de Aprendizaje) es un sitio virtual, "...el lugar donde alumnos, tutores, profesores o coordinadores se conectan a través de Internet para descargarse contenidos, ver el programa de asignaturas, enviar correo al profesor, charlar con los compañeros, debatir en un foro, participar en una tutoría, etc."(sic.) (García y Martínez 2007).

Cabe mencionar que el otro nombre con el que se conocen los LMS es plataformas. Al respecto Castellanos (2004:13) comenta que "La enseñanza basada en Web, los cursos a distancia, los libros electrónicos y las plataformas interactivas de educación a distancia juegan un papel cada vez más importante en el proceso de aprendizaje".

El uso de tecnologías como los LMS obliga al estudiante a desarrollar nuevas competencias para hacer más sustantivo su aprendizaje. En ese sentido, hay una diversidad de herramientas para resolver distintos problemas, pero como docentes o investigadores, debemos tener presente, qué habilidades deseo desarrollar en mis estudiantes, o qué uso espero que hagan a partir de la información disponible.

Así, si deseo que los estudiantes memoricen información durante más tiempo, o que construyan ensayos a partir de una cierta selección de sitios web, o bien que comprendan una estructura espacial compleja como la célula u otros objetos de estudio, los LMS tienen la posibilidad de mostrar una diversidad de recursos donde los estudiantes tienen la oportunidad de ser estimulados por audio, video, texto, imágenes, entre otros. Lo anterior podría llevarme hacia la estimulación de distintas áreas de su corteza cerebral, con lo que a su vez se propiciarían condiciones para estimular la memoria de largo plazo y de ahí que pueda gestarse el aprendizaje. Tal vez al emplear gises y pizarrón, o lápiz y papel, se estimula un número más reducido de neuronas y por ende de áreas corticales, donde el movimiento y la iconicidad de una imagen están reducidos, con lo que hay mayor probabilidad de olvido.

Sin embargo, las virtudes de los LMS van más allá de la simple estimulación o el recuerdo, ofrecen otras posibilidades, como la participación de distintos actores como: un administrador general, quien desde el punto de vista técnico controlará los

diferentes servicios y tareas de otros actores. Un diseñador instruccional o mejor aún un pedagogo, que puede o no ser el docente, quién hará su planeación didáctica y tendrá un trato directo con los estudiantes. Y finalmente los estudiantes, para quienes está diseñado el curso, la unidad o la estrategia. En otros LMS se encuentra como tal, la figura del profesor, o del tutor, y eventualmente la de uno o varios asesores.

Otras bondades de los LMS es la posibilidad de tener acceso a foros, correo electrónico, Chat, subir o bajar tareas o archivos de distinta índole, planear las actividades por cierto periodo de tiempo, conectarse a otros cursos, o a más LMS. De manera que esta forma de concebir el aprendizaje desde una visión integradora implica un cambio en la manera de pensar acerca de la teoría o los dogmas, una forma más dinámica de interactuar con el conocimiento, pasar hacia la construcción de representaciones y modelo; de esta manera construir una ecología cognitiva para nuestros estudiantes.

Dentro del diseño del LMS, y con la intención de que nuestros estudiantes puedan tener éxito en la apropiación de los contenidos de nuestro curso, tendría que considerarse: *tipo de contenido, necesidades e intereses de los usuarios, estrategias, recursos, interactividad*, así como *otros aspectos considerados en el diseño de la interfaz*.

En un LMS el *uso de recursos* para un aprendizaje estratégico es variado. Porque puede combinar la experiencia de la elaboración de mapas mentales, con el uso de software, que puede ir desde un video, un presentador electrónico, o imágenes, que auxiliarán a un estudiante para visualizar gráficamente aspectos como la dinámica celular, con lo que no se verá limitada su capacidad a la sola lectura de textos o imágenes. Sino que se promueve la integración de medios y de herramientas para potenciar las habilidades cognitivas (Ruíz - Velasco 2003:14-15).

Este autor nos señala también que es crucial lograr una *interactividad cognitiva*, una comunicación bidireccional, entre los procesos cognitivos del usuario y la información obtenida a través de los recursos tecnológicos utilizados, lo que le permite la construcción de sus propios conocimientos y conceptos, en función de sus

experiencias, experimentaciones y exploraciones en entornos educativos tanto reales como virtuales. Es evidente la gran variedad de recursos disponibles en los LMS.

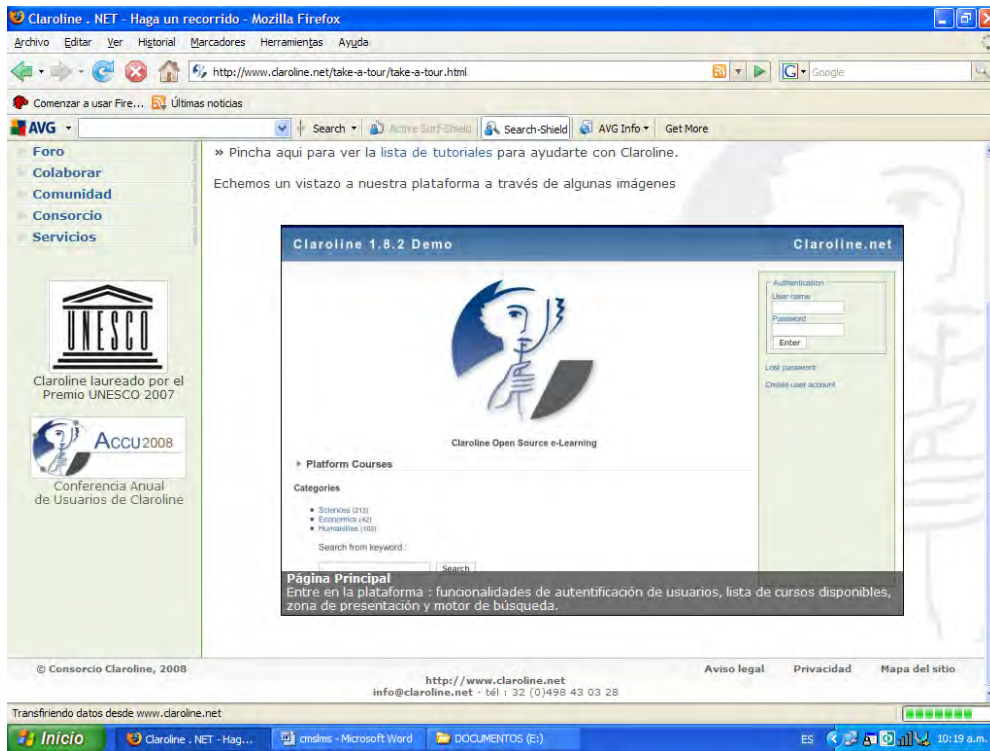
Otros aspectos considerados en el diseño de la interfaz del LMS son: la planeación que debe considerar aspectos técnicos como manejo de distintos formatos para mantener la atención e interés de los estudiantes, debe integrar distintos medios, y proveer de distintas herramientas al usuario.

Debe cuidarse el lenguaje con el que se expresan ideas a los estudiantes, ser sencillo, claro, contar con imágenes que expliquen o reafirmen lo que se muestra en el texto. Asimismo, será necesario contar con animaciones que ayuden a enriquecer la información adquirida en el laboratorio o en la teoría. Y desde la didáctica es importante considerar el “dejar hacer” al estudiante aprovechando la bondad de la independencia de tiempo y lugar, la integración de medios en un aprendizaje de más calidad.

El diseño permitirá descubrir o redescubrir conceptos o resolver y usar conocimiento en situaciones concretas. Los LMS ofrecen la posibilidad de equivocarse e inclusive repetir la actividad el número de veces que sea necesario. En su interfaz muy intuitiva y amigable, el menú principal puede mostrar las distintas secciones que pueden ser: tipos celulares, estructura celular, clips de video, animaciones, actividades y tareas. Puede haber foros de discusión, comunicación vía Chat o correo electrónico y tener disponibles enlaces a los textos videos o animación.

Algunos aspectos importantes en el *diseño de ambientes de aprendizaje*, como las LMS son: considerar que la tecnología *per se* no es sinónimo de éxito inmediato con los estudiantes, por ello es necesario que en su diseño, no generemos falsas expectativas, ni impedir la imaginación de nuestro alumnos por tener “todo” controlado, en el sentido de que no halla retos, sorpresas, o dejar espacio a su creatividad. Por otra parte, es indispensable dosificar la información a fin de no sobrecargar al estudiante, lo cual hace fundamental una planeación pedagógica del ambiente de aprendizaje. Al observar la figura 2.6, puede compararse un LMS de fuente abierta como Claroline y Moodle, o de descarga mediante pago como First Class y WebCity, entre otros.

a)



b)

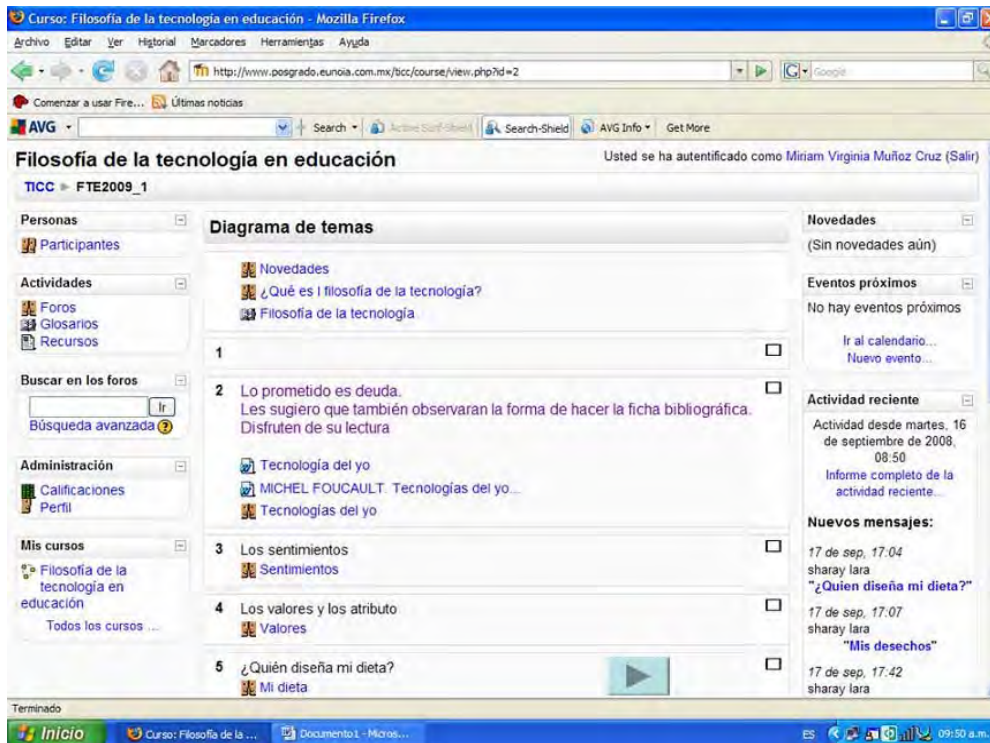


Figura 2.6 Comparación entre dos LMS de código abierto (*Open source*). El inciso a) muestra el aspecto de *Claroline*. Y el inciso b) a un *LMS* denominado *Moodle*. Disponible en <http://www.claroline.net> y en <http://www.moodle.com>.

Estos espacios virtuales ofrecen la posibilidad de incorporar textos que pueden ser cuidadosamente seleccionados, por ejemplo, los libros y revistas electrónicas disponibles en Internet, o algunas páginas de universidades, sociedades científicas o sitios educativos; o bien emplear foros de discusión donde el profesor, además de permitir la revisión de otros sitios de Internet puede incluir preguntas interesantes que promuevan el debate entre los participantes, como: ¿Es ético utilizar células madre para restituir el tejido de una persona que sufrió una lesión o quemadura?

Pero la riqueza de este sitio puede ir más allá, por ejemplo a partir de un problema concreto sobre el uso que se hace de células, como podría ser la clonación o el cultivo de tejidos, desarrollar una MiniQuest, en la que en función de los recursos disponibles en la red, un alumno pueda inclusive elaborar un ensayo y expresar sus pensamientos y su comprensión del tema.

Los LMS nos ofrecen otras posibilidades, como el tener disponibles imágenes de células en tercera dimensión, u obtenidas a partir de micrografías electrónicas o a partir de microscopía fotónica, que superan en mucho a un “garabato” mal hecho en el pizarrón. Además, existe la posibilidad de colocar en el sitio animaciones que nos muestren la interacción entre los diferentes organelos subcelulares con lo que el estudiante podrá visualizar una relación dinámica, no estática o fragmentaria como la que exhiben los libros de texto.

O bien inclusive hay la posibilidad de insertar videos de células en tiempo real, en los que se puede apreciar el movimiento y repetir el número de veces que sea necesario, hasta tener claridad en la relación espacial de las células.

En realidad las LMS permiten también el trabajo en equipo, así que debemos potenciar lo que cada uno de los participantes sabe en un todo, como parte de una visión sistémica, que nos permita crecer juntos.

Por lo anterior, dentro de las preguntas más interesantes que se pueden prever en el impacto de los LMS están ¿Cómo vamos a usarlos? como instrumentos de dominación, exclusión, segregación, es decir, controlando todos los accesos, contabilizando el número de veces que el estudiante tuvo acceso, y “fiscalizando” si

descargó de la página en cada emisión, qué descargó; o bien que ayude a: la liberación, acogida, apertura, y construcción de conocimiento, para compartirlo con otros, para hacer sus propias creaciones, o simplemente expresar lo que está pensando, intercambiarlo y publicarlo.

Lo anterior hace posible que en el momento actual, donde el concepto de *Cibercultura* nos habla de que las comunidades de todo el mundo conformamos un hipertexto gigante en movimiento, se pueda estar generando conocimiento para una ecología cognitiva colectiva, donde los usuarios sueñan y piensan dentro de un sistema que se encuentra en reorganización permanente. En palabras de Lévy (1990) se estructuran actividades cognitivas que organizan y ordenan a los sujetos.

Por último, aún cuando no se dispone de todos los recursos en nuestras instituciones debemos ser conscientes de que para un alumno la tecnología le es familiar, hace su vida más fácil, no necesita desplazarse hasta la biblioteca para conseguir información, sobre todo si dispone de Internet en casa, o en un café cercano a ella, y a partir de recursos educativos como las LMS tiene unas posibilidades inauditas de apropiarse, transformar e inclusive producir nuevo conocimiento.

2.4.6.5 E - portafolio

Los e - portafolios son documentos electrónicos que pueden almacenarse de manera local en la computadora, o estar disponibles desde la red de Internet. Estos portafolios nacen de la idea de los fotógrafos, los arquitectos o los artistas, quienes mediante una carpeta muestran lo más significativo de su actividad. “Muchos portafolios no son colecciones de todo lo que el profesor ha hecho en la forma de enseñanza sobre su carrera total. Por el contrario son muestras seleccionadas que ilustran cómo la enseñanza del individuo es llevada a cabo en los varios sitios en los cuales sucede la enseñanza”. (*The center for teaching effectiveness*, 2007:1)

El e - portafolio docente “supone una descripción de los esfuerzos y resultados de un profesor por mejorar su enseñanza” (Fernández, 2004). Para esta autora, el portafolio docente implica no solamente un cambio metodológico de la enseñanza, sino también teórico. Porque una de las características del portafolio es que “el

profesor asuma el proceso de recogida de la información pertinente sobre sus actuaciones docentes y que tiene el derecho y la responsabilidad de demostrar su profesionalidad”.

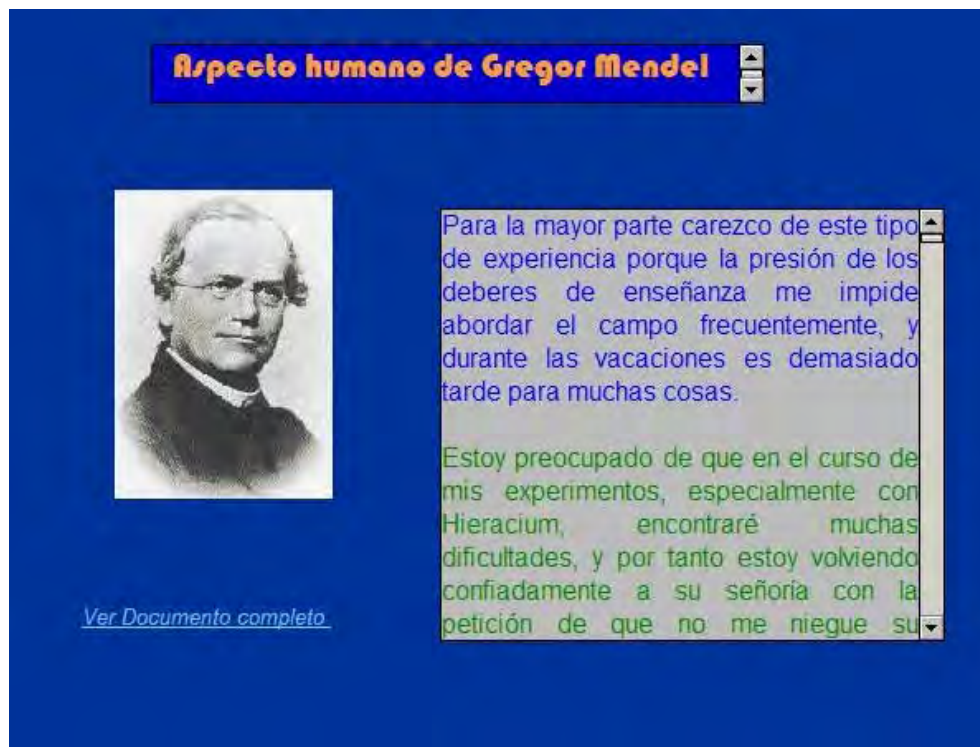
Es interesante ver que el portafolio da evidencia documentada de enseñanza que está conectada a los objetivos específicos y contextos de lo que está siendo enseñado. Puede incluir: auto – reflexiones, reportes sobre investigación en salón de clase y los esfuerzos de desarrollo de habilidad. El docente en el proceso de seleccionar y organizar su material para elaborar portafolio, desarrolla la habilidad de pensar reflexivamente acerca de su enseñanza y analiza las posibilidades de ir mejorando su práctica. Deberá decidir que incluye dentro de un portafolio y cómo debería ser evaluado, las instituciones necesariamente deben dirigir la pregunta de qué es enseñanza efectiva y que estándares deberían conducir la práctica de enseñanza (Véase Figura 2.7)

Un portafolio docente afirma la filosofía de enseñanza sobre cuál es el papel del maestro y cómo las actividades del individuo se ajustan con esa filosofía. Aunque aquí el uso propuesto es para un tema, puede apoyar el programa de estudio detallando el contenido del curso, métodos de enseñanza, asignaciones de tarea y actividades de evaluación, posiblemente resaltando cómo los cursos han cambiado con los años en respuesta a la realimentación del estudiante o el desarrollo del docente.

Tecnológicamente ofrecen distintas bondades: que su consulta está poco limitada por el espacio o el tiempo, tienen a su favor el uso de distintos medios como: video, fotografía, animación, sonido, por lo que se constituyen en ambientes ricos de aprendizaje. Estos últimos “son espacios informáticos que permiten a los usuarios, el descubrimiento, la exploración y la experimentación para encontrar información por ellos mismos. Al estar interactuando con un programa específico, ellos ya están trabajando con una representación concreta de la realidad, o con representaciones más abstractas” (Ruíz - Velasco, 2003:16).



a)



b)

Figura 2.7 Un ejemplo de e – portafolio docente Mendeliano. En a) se observa el menú de opciones, mientras que en b) un aspecto de la vida de Gregor Mendel. (Tomado de Muñoz 2006).

Aspectos propios del diseño del e- portafolio:

“Ruíz - Velasco (2003) nos orienta en el diseño, donde además de tomar como base lo explicado en los párrafos anteriores, se busca también que el usuario, al emplear el e-portafolio, genere una cierta interactividad cognitiva, en el sentido de intercambio de información entre el autor y el lector” (Cfr. Muñoz, 2006: 79).

Debe considerarse también que el usuario tenga flexibilidad de acceso en el manejo, la recuperación y la búsqueda; es decir que la interfaz sea muy intuitiva para que el usuario no naufrague o le cueste trabajo interactuar con ella.

Otro aspecto importante es que el usuario tenga la posibilidad de manejar una gran cantidad de información, con oportunidad de ampliarla, organizada (en contexto o troceada).

Para esta interfaz el modelo o metáfora empleado es: el e- portafolios docente mendeliano, entendido como una recopilación selecta de documentos, materiales, ejercicios, lecturas, etc, que hace el profesor con base en su experiencia y en función de sus objetivos de aprendizaje. Pero que están relacionados entre sí por la intención de promover el aprendizaje de la genética mendeliana, además se encuentran almacenados electrónicamente con posibilidad de ampliar y diversificar la información.

Finalmente el e-portafolio puede representar una alternativa en el aprendizaje de la estructura celular, porque está tomando en cuenta al aprendizaje como un fenómeno multidimensional, en donde, como se planteó anteriormente, intervienen distintos factores, y tiene diversas bondades como: mostrar los esfuerzos que realiza el profesor por mejorar su actividad docente, contribuir a la formación docente del profesor, reflexionar sobre sus cursos, realimentar a sus estudiantes, tener cierta flexibilidad para coadyuvar al aprendizaje de sus estudiantes, entre otros. Pero además, que dé cuenta del proceso y que quede evidencia para otros.

Frente al panorama educativo actual y ante la necesidad de promover un cambio en la educación, a fin de lograr una práctica educativa coherente que fortalezca y

mejore o al menos potencie el aprendizaje, es fundamental destacar que para ser un profesor eficiente no basta con tener un buen dominio de la disciplina, que aunque es una cualidad indispensable que le permitirá la interacción con los estudiantes y con el contenido, es insuficiente ante la realidad de las aulas, que es compleja. Y donde existe la posibilidad de ofrecer a los estudiantes un aprendizaje más autónomo, creativo, rico con posibilidades ilimitadas de crecer.

En resumen parte de la estrategia que se propone desde la perspectiva tecnológica se basa en herramientas para potenciar las habilidades de pensamiento y en las herramientas de visualización, como el uso de los mapas mentales que se explicará en el siguiente apartado, para mayor comprensión son sugeridas las simulaciones, porque facilitan la creación de representaciones mentales complejas, dado que ayudan a visualizar de manera dinámica, el modelado de procesos de la estructura celular. Pero se sugiere también el uso de una MiniQuest sobre células madre. Y para publicar puede hacerse a través de una LMS, un e – portafolio o un blog*. Se prevé que para investigaciones futuras exista la posibilidad del uso de microscopia digital, donde sin necesidad de tener un microscopio los estudiantes en pantalla puedan observar distintos cortes histológicos e inclusive ampliarlos.

2.5 Los mapas mentales como síntesis de las dimensiones para el aprendizaje de la estructura celular

Estamos viviendo un momento especial, porque la cantidad de información que se está produciendo y aquella a la que tenemos acceso es infinita. Ahora bien, los profesionistas de una cierta área contamos con estrategias para manejar la información pero de que manera ayudar a los estudiantes a organizarla para comprenderla, cuando lo primero que puede suceder es que se saturen mentalmente con la información. Una alternativa sería lograr plasmar ideas y pensamientos físicamente para lograr articularlos mejor, porque como lo menciona Herman Von Helmontz (1962 en Mather 2006: 33): “Nuestras ideas de cosas no pueden ser cualquier cosa sino símbolos, signos naturales para cosas las cuáles aprendemos

* Un blog es un espacio virtual de expresión que nos abre la posibilidad de comunicarnos con el mundo. En él se pueden publicar: notas, cursos, diarios, entre otros, en los que se puede incluir, además de texto, vídeo, ligas a otros sitios, etc.

como usarlas para regular nuestros movimientos y acciones”.

En realidad el pensamiento es infinito, pero existe la posibilidad de expresarlo gráficamente, al menos una parte de él. Hoy en día existe un abanico de posibilidades para elaborar representaciones gráficas; por ejemplo los C Maps (mapas conceptuales), la UVE de Gowing, las estructuras conceptuales, entre otros.

Sin embargo, su uso depende de lo que se pretenda lograr con ellos. Por ejemplo, el aprender con los mapas conceptuales ayuda a organizar jerárquicamente las ideas o los conceptos. Mientras que la UVE de Gowing es útil en el planeamiento y solución de problemas, por ejemplo en el laboratorio. Por otra parte las estructuras conceptuales que permiten organizar los conceptos desde la lógica de cualquier disciplina.

El uso de los mapas mentales es una forma de hacer explícito el pensamiento, “es una expresión del pensamiento irradiante y, por tanto, una función natural de la mente humana. Es una poderosa técnica gráfica... para acceder al potencial del cerebro” (Buzan y Buzan, 1996).

Los mapas mentales utilizan imágenes que permiten atender, percibir, retener y recuperar información, básicamente porque emplean ambos hemisferios del cerebro. Crean la posibilidad de entender dónde se ubica cognitivamente un alumno y acercarlo o apoyarle en la construcción de su conocimiento biológico.

En realidad se trata de una técnica sencilla donde son empleados papel bond, plumones o colores para plasmar ideas, conceptos, imágenes, información, entre otros; aun cuando también es posible disponer de ciertos programas informáticos (*software*) en el mercado para el mismo efecto.

La elaboración de un mapa mental ofrece distintas bondades, por ejemplo en una sola hoja o pantalla es posible ver plasmada una cantidad importante de información, de manera creativa, con el sello personal del que lo elabora, y la posibilidad de actualizarlo continuamente, para generar conocimiento e inclusive emplearlo como estrategia de repaso para un examen. Son creativos en el sentido de que cada

persona tiene la oportunidad de emplear sus propios códigos para representar información, ello facilitará su recuperación o interconexión (Véanse figuras 2.8 y 2.9). En ese sentido los mapas mentales pueden apoyar a los estudiantes en sus procesos de visualización y construcción de conocimiento. Mientras los docentes podemos utilizarlos para realimentar a los estudiantes y apoyarles en su proceso de construcción de conocimiento biológico, intentar abatir o atenuar el problema de la falta de interconexión entre la estructura y función de los organelos subcelulares; así entender a la célula como un todo activo interactuante y dinámico.

Los mapas mentales se basan en palabras clave, usan una idea o palabra central, a partir de la cual inicia toda una serie de ramas o ideas secundarias, de las que derivan otras menos importantes pero que están adheridas a ramas superiores. En realidad se trata de una estructura nodal que puede estar altamente ramificada.

Las palabras clave deben estar sobre las ramas, las cuales serán más gruesas si están cercanas a la idea central, y más delgadas si se alejan de ella. Se pueden utilizar colores, símbolos, códigos, flechas, tridimensionalidad e inclusive propiciar la idea de movimiento.

Es necesario organizar bien el espacio de la hoja de manera horizontal, a fin de lograr organizar la información que puede provenir de las propias ideas del autor, la información más importante de un libro o para la planeación coherente y ordenada de una conferencia, entre otros.

Se ha comentado previamente que para tener un panorama global de alguna temática de estudio, los mapas mentales pueden ser excelentes aliados. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 2.10 que resume la información fundamental por capítulos de la presente tesis. Puede verse que el capítulo 2, correspondiente al estado del arte, está muy ramificado porque explica la síntesis de las dimensiones consideradas en esta investigación, permite ver la jerarquía y complejidad de las relaciones entre ellas, además de mostrar algunos de los conceptos involucrados. Cabe mencionar que en dicho mapa se incluyeron imágenes, cuadros y colores.

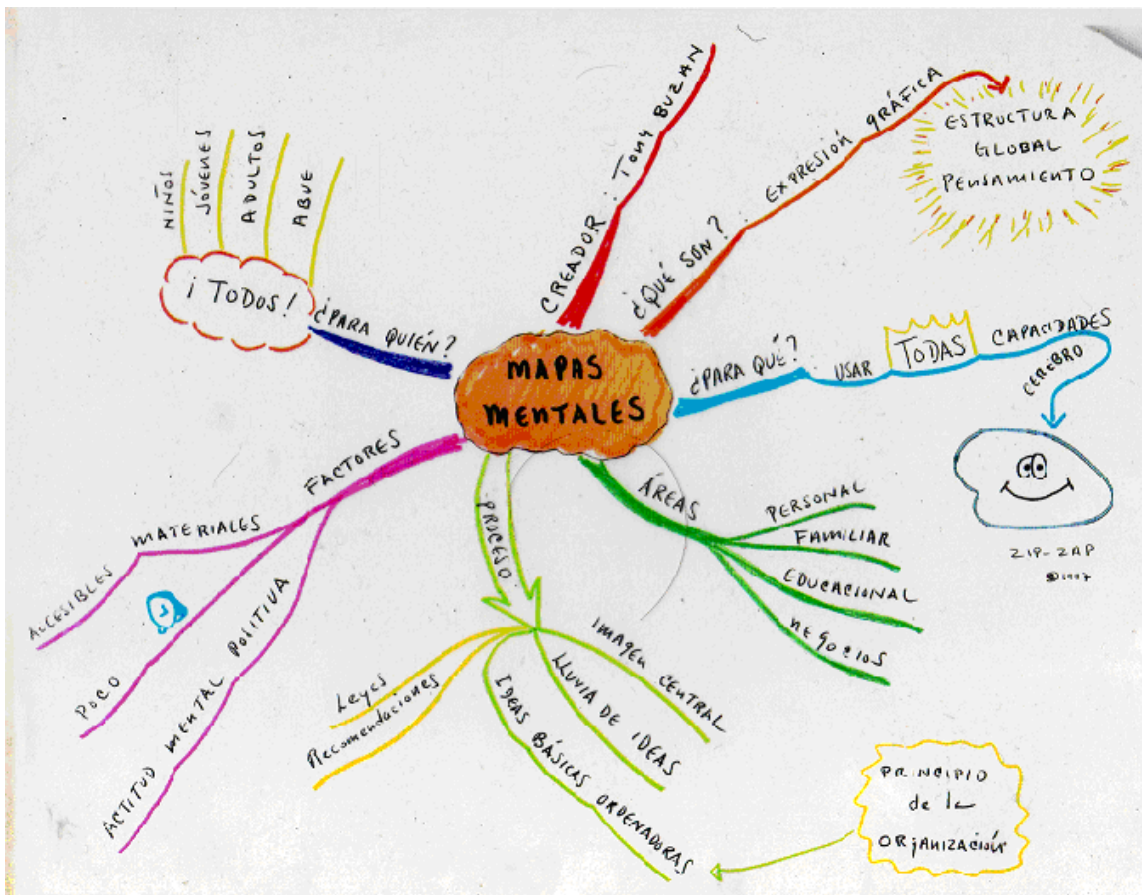


Figura 2.8 Mapa mental que explica las bondades de los mapas mentales. Se observa perfectamente la jerarquía de los conceptos, los más importantes tienen un tamaño de letra mayor y están sobre ramas más gruesas, mientras que los conceptos menor jerarquía están en letras más pequeñas con ramas más delgadas, además son físicamente más lejanos de la idea central. Fue elaborado por la Biól. María Elena García Andrade.

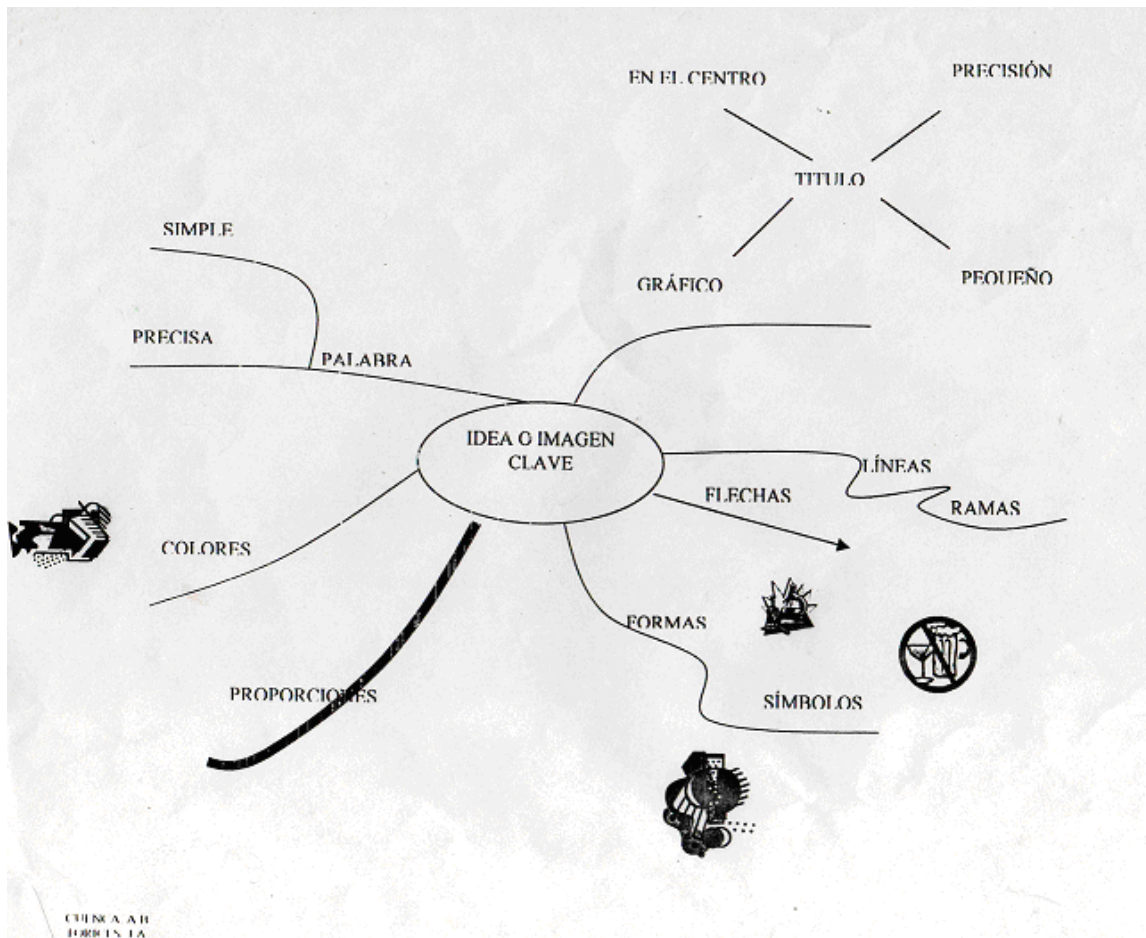


Figura 2.9 Mapa mental para la elaboración de los mapas mentales. Este mapa a diferencia del anterior fue realizado mediante el programa *Powerpoint*, su valor radica en que nos explica todo lo que debemos tener presente para hacer un mapa mental. Fue elaborado por las maestras Beatriz Cuenca Aguilar y Ana María Torices Jiménez.

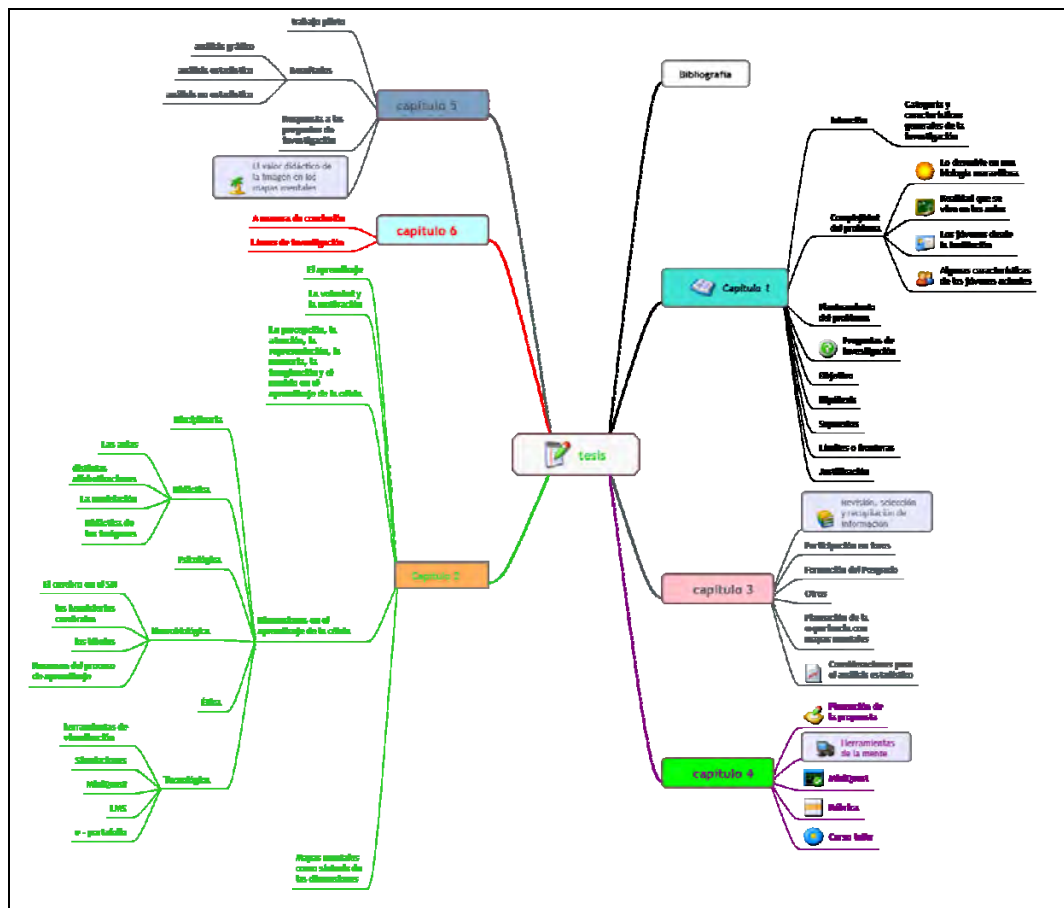


Figura 2.10 Mapa mental de la presente tesis. Es notoria la disposición por capítulos, también la jerarquía al resaltar mediante cuadros con color los aspectos más importantes. Particularmente en el capítulo 2 del mapa el énfasis está puesto en la síntesis de las dimensiones consideradas en esta investigación. Este mapa fue hecho con ayuda del programa *Visual Mind*©

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo comprende aspectos metodológicos que fueron conformando y transformando paulatinamente esta tesis doctoral; ellos derivaron de las situaciones que a continuación se discutirán: revisión, selección, recopilación de información; participación en foros, la formación del posgrado de Pedagogía y otros. En párrafos posteriores a este apartado describo como se planeó la estrategia de los mapas mentales con los estudiantes del plantel 5 de la ENP en la materia de Biología, así como las consideraciones previas al análisis estadístico, por ejemplo la elección de un programa estadístico de cómputo.

3.1 Revisión, selección y recopilación de información

Se ha realizado la revisión y recopilación de la información, de manera selectiva pero respetando la amplitud del tema en la medida de lo posible. Se llevó a cabo mediante la consulta a la red de las bibliotecas, centros, posgrados e institutos de investigación de la UNAM y de otras universidades para localizar fundamentalmente las fuentes de información, primarias y secundarias. Se visitaron los depósitos, bibliotecas y museos virtuales. Ha sido reunida información de libros, tesis y revistas especializadas en enseñanza de las ciencias y didáctica de la biología, en línea y publicaciones periódicas o seriales.

Fueron utilizados también metabuscadores como *Dogpile* y *Metacrawler* como herramientas para localizar información, porque "...son programas que nos apoyan en búsquedas a profundidad en la WWW, despliegan más resultados en la pantalla que un motor normal. Además, clasifican la información en función de la calidad, eliminando los duplicados"³³. Han sido atendidos aspectos de mejora en los resultados de búsqueda en páginas web, explotar la información, filtrarla y clasificarla. Como búsquedas a través de los programas agentes, propuestos por: Carvalho, Rattikorn, y Cañas (2006).

³³ Ruíz - Velasco, Sánchez, E. 2003. Exploración y comunicación a través de la informática, Grupo editorial Iberoamérica, México, 310 pp.

Al momento de trazarme la revisión de los textos y teniendo presentes las distintas dimensiones del aprendizaje, parte de la búsqueda y lectura selectiva de materiales, ha involucrado no únicamente desentrañar los aspectos centrales de los artículos u otros textos, sino sintetizar, analizar y contrastar la información proveniente de distintos campos de conocimiento, además de los distintos autores en las diferentes disciplinas.

Sucede entonces que frente a nosotros hay una gran cantidad información en las fichas de trabajo, donde cada una cuenta con información relevante de los autores y con aportaciones propias. Pero es tal cantidad que puede generar ansiedad y angustia, o al menos producir la sensación de ¿Y ahora qué hago? o ¿qué sigue? Es cuando se tiene que poner orden al caos de información y proceder a sistematizarla, para organizarla e interpretarla de una manera coherente y así establecer los ejes conductores de la investigación para empezar a desarrollarla.

Es una oportunidad perfecta para construir los mapas mentales o las estructuras conceptuales, ya sea en papel o en computadora a través de los diferentes programas: *Eve*®, *Inspiration*®, *CMapTools*® o *Visual Mind*®, a fin de cartografiar la constelación de conceptos, observar las conexiones o relaciones que existen entre ellos y plasmar la información que está en nuestra mente o en los textos que revisamos. De manera que las representaciones internas (los pensamientos propios) sean plasmadas en representaciones externas (los mapas), para así abatir la carga cognitiva e interpretar mejor la información, logrando establecer relaciones, jerarquizaciones e interconexiones entre los diferentes conceptos involucrados en alguno de los temas analizados. E inclusive detectar conexiones o relaciones entre conceptos que no son tan evidentes.

Por ejemplo, la figura 3.1 muestra la estructura conceptual que realice inicialmente sobre el aprendizaje. Dicha estructura me permitió sistematizar la conexión entre los conceptos de las diferentes dimensiones. Al ver plasmados los conceptos fue posible detectar cuáles eran más evidentes, o aquellos que serían significativos para la investigación, así que tendrían que ser centrales al elaborar el estado del arte, o muy importantes en la discusión final, como el concepto de representación, de modelo, de

carga cognitiva, entre otros. También fue posible apreciar la manera en que se interconectan las dimensiones y entender cuál era la relación que había entre la representación y el modelo, la forma en que los mapas son soportes de los modelos, o bien, si habían representaciones externas e internas y si a su vez, ellas tenían alguna conexión con la memoria, o con la imaginación, el aprendizaje, etc.

Al elaborar los mapas se debe dar sentido a las jerarquías y las relaciones conceptuales que se pretende mostrar, debatir o escribir, para que el texto resultante no sea sólo un pegoteo de información, desarticulado, carente de estructura lógica, sino más bien que sea coherente y sistemático.

Parte de la metodología consistió igualmente, en la búsqueda de sitios de Internet en los que se ofrecieran programas para elaborar mapas. Se puso especial atención para discriminar si los sitios de Internet localizados eran de descarga mediante pago, o de código abierto (de descarga gratuita), si eran relativamente fáciles de descargar (ligeros), esto es consumían poco tiempo y espacio en la memoria del disco duro, o todo lo contrario si eran pesados, necesitaban además de mayor tiempo de descarga, varios megabytes de memoria en disco.

Así mismo, se evaluó si en dichos sitio que ofrecían programas de cartografiado para la elaboración de mapas: ¿Cuál era la meta de dichos programas? ¿Qué ofrecían al estudiante? Por ejemplo, si tenían la posibilidad de inserción de imágenes, videos, colores, o códigos entre otros; un interés especial se dedicó a captar ¿Qué tipo de habilidades podían estar potenciando en el estudiante? E inclusive ¿cuáles eran sus limitaciones respecto a otros sitios?

Por otro lado, se buscaron sitios que tuvieran galerías de imágenes, simulaciones de funciones celulares o de organelos subcelulares y videos en tiempo real de células eucarióticas, con énfasis especial en el movimiento y la tridimensionalidad de los organelos o en situaciones donde se percibiera la interacción de diferentes organelos celulares. Con esas características se seleccionaron de algunos libros electrónicos este tipo de materiales, solamente que se algunos de ellos se encuentran protegidos por derechos de autor. Otro aspecto indispensable de la metodología se detalla en el siguiente apartado.

3.2 Participación en foros

Como puede verse en la figura 3.2 ha habido una participación interesante en los congresos internacionales con temas relativos a esta tesis, como:

- E-portafolio docente una alternativa pedagógica para un aprendizaje multidimensional de la Biología, presentado en Virtual Educa 2007, en Brasil.
- Las imágenes mentales y la simulación: una estrategia pedagógica integral para la construcción de conocimiento biológico. XII Congreso CREAD/MERCOSUR 2007, Argentina.
- Bioimágenes: una aproximación didáctico – tecnológica para la construcción de conocimiento”. En el XXIII Simposio Internacional de Computación en la Educación de la Sociedad Mexicana de Cómputo para la educación (SOMECE).
- Videoconferencia “Portafolio virtual para la enseñanza de tópicos de biología”, que se difundió a través de Internet, fue consultado en Agosto de 2007 en la dirección: <http://www.somece.org.mx>
- “Diseño de un ambiente mixto de aprendizaje para estudiantes de bachillerato universitario: una estrategia didáctico - biológica integral”. IX Encuentro Internacional Virtual Educa 2009, Zaragoza - España.

Estas experiencias han sido verdaderamente enriquecedoras. Por una parte, ayudó a validar algunas de las ideas derivadas de esta investigación, con un público de mayor heterogeneidad y preparación, inclusive más exigente, porque se trata de expertos en el área, provenientes de otros países, de manera que algunos de sus comentarios o sugerencias han favorecido en buena medida la reestructuración de este texto. Un aspecto relevante de los foros internacionales es la posibilidad de analizar las tendencias con relación a la tecnología y su uso. Hay quienes opinan que con tener tecnología de punta es suficiente para que los estudiantes aprendan casi automáticamente o mágicamente un contenido. O bien tener a los estudiantes a manera de “robots”, donde tendrían que seguir instrucción por instrucción, sin la



Figura 3.2 Presentación de ponencias en foros internacionales y nacionales. Imagen lado superior izquierdo Virtual Educa Brasil, lado superior derecho CREAD MERCOSUR, Argentina. Lado inferior izquierdo SOMECE 2008, Veracruz, México. Y Virtual Educa España inferior derecho.

posibilidad de análisis o crítica. Ambas posturas son contrarias a esta tesis, porque aquí se considera una postura didáctica frente a la tecnología.

Durante el acceso a foros, además de observar las posturas que adoptan los conferencistas, permite conocer las innovaciones que están por generarse. Por ejemplo, en Europa se está gestando un proyecto importante para hacer de la Televisión el medio a través del cual hacer llegar contenidos educativos a una mayor población, como la que se encuentra en sitios alejados o poco accesibles.

Por otra parte, gracias a la interacción con otros profesores de países diversos, e inclusive que imparten otras materias, se ha visto como la técnica de los mapas mentales puede tener distintos usos estratégicos no sólo en la enseñanza de la Biología sino de otras materias. Así, un profesor de etimologías grecolatinas de España me comentó: los mapas mentales me podrían servir para planear un tour por la Cd. de Aragón para que los alumnos recorran las calles o edificios donde hay inscripciones o nombres griegos y latinos pero que recuperen la etimología de las palabras de dicha experiencia mediante un mapa mental.

Los foros nacionales han ofrecido la posibilidad de difundir con colegas tanto del área pedagógica como disciplinaria algunas de las experiencias derivadas de este trabajo de investigación, asimismo de compartir materiales, dudas e información. Considero que el tener que explicar a otros lo que estás pensando te obliga a entender mejor lo que quieres mostrar, a expresarte adecuadamente y a reestructurar tus ideas o tus pensamientos.

Como sucedió en el Simposio Internacional de la Sociedad Mexicana de Computación (SOMECE) donde la información presentada en dicho simposio tiene que ser bien elaborada, porque abarca distintas áreas, en los diferentes niveles educativos, con la riqueza de varios países, que se suma a la que nuestro país tiene, en función de su heterogeneidad de realidades, de condiciones y de recursos propios, entre otros. Destaca el valor que cada una de estas experiencias presentadas mediante póster o conferencia, aporta a la colectividad, la manera en que cada grupo de investigadores resuelve una problemática determinada y al compartirla con los demás promueve la inteligencia colectiva.

Cabe mencionar que otro foro, el Congreso Nacional de Pedagogía (CNP) coadyuvó a que los estudiantes de la Licenciatura en Pedagogía plantearan preguntas verdaderamente interesantes, que involucran la reflexión crítica sobre el impacto y el uso de la tecnología.

Una experiencia un poco diferente, pero particularmente interesante, que ha sucedido paralelamente a esta tesis es el Seminario “la Enseñanza de las Ciencias desde distintas miradas”, donde a lo largo de 4 años he tenido la posibilidad, con ayuda de algunos compañeros del colegio de Biología y de las autoridades del plantel No. 5 de la ENP, no sólo de conocer al personal docente de mi plantel, al de otros planteles y de otros sistemas de bachillerato, sino de compartir las distintas formas de enseñanza de la ciencia desde la mirada de los especialistas y la experiencia de los docentes.

Dicho seminario me ha permitido valorar la importancia de generar espacios de discusión donde los profesores podamos transformar o contribuir e intercambiar experiencias académicas, sobre problemáticas específicas para el área de la enseñanza de las ciencias, a fin de transformar la realidad educativa propia y la de los otros, descubrir potencialidades y características que podrían mejorar el aprendizaje de las ciencias. Este particularmente ha sido un campo que me ha hecho consciente de cuáles son las necesidades, los retos y las oportunidades con que cuentan algunos docentes de la Escuela Nacional Preparatoria, lo cual es un aliciente para continuar con esta investigación. En este evento ha sido fundamental el ayudar a los participantes a reconocer el valor de su experiencia docente, a actualizarse con temas relativos a la enseñanza de la ciencia, pero también de otras áreas. Se ha rescatado la importancia de tránsitos interdisciplinarios como ciencia – arte y arte – ciencia, filosofía – ciencia, ciencia – filosofía, entre una gama de posibilidades.

3.3 La formación del Posgrado en Pedagogía

Una fuente importante para ir depurando las ideas originales y articularlas mejor, proviene de la manera en que el Posgrado de Pedagogía está estructurado, esto es mediante un programa de tutorías y seminarios que se cursan durante cada

semestre. De manera que al irlos cursando, con las aportaciones de profesores y compañeros, así como de los materiales propios de cada seminario, el trabajo va tomando forma y se robustece.

Específicamente las tutorías han contribuido a ampliar distintos aspectos donde el trabajo presentaba alguna deficiencia, redireccionarlo cuando ha sido necesario, pero más allá de todo, la circunstancia del apoyo humano que mi tutor y el comité tutorial me ha brindado para el mejor desarrollo de la tesis.

Dentro del posgrado, otra fuente de reflexión sobre la investigación doctoral proviene del Coloquio de doctorandos. Dicho evento ha nutrido este trabajo en dos aspectos: la responsabilidad personal de presentar cada año a los colegas, nuevos materiales y atender a sus sugerencias o comentarios. Y también a partir de las interesantes preguntas que los asistentes me devuelven ha ayudado a redirigir los pasos de la presente tesis, por ejemplo, a enfatizar cosas que en lo personal me parecían obvias, pero que no lo eran.

3.4 Otros espacios de reflexión colectiva:

Dado que el tema central de esta tesis es el aprendizaje de la estructura celular, se tomó en cuenta la información novedosa de la biología celular y molecular, la cual provino de los cursos de DGAPA promovidos por la DGENP para la actualización disciplinaria de los profesores del bachillerato de la UNAM.

3.5 Planeación de la experiencia con los mapas mentales

Conforme se verá a lo largo de este apartado, básicamente se propuso el uso de mapas mentales, como representaciones gráficas del pensamiento, para organizar y explorar las posibles relaciones o jerarquizaciones de los conceptos que serán trabajados de forma gráfica.

Para los estudiantes se pensó en una progresión en el aprendizaje de la estructura celular: por ejemplo, el primer acercamiento a un nivel más básico fue la lectura y la observación de esquemas mostrados en los libros convencionales del nivel

bachillerato. Luego, en un segundo momento, los estudiantes aprendieron la técnica de los mapas mentales a través de distintas actividades, como el ejercicio de la felicidad. De manera paralela, realizaron la observación de distintas células en el microscopio fotónico, para luego establecer la comparación entre las dimensiones y el detalle de las fotocopias provenientes de micrografías electrónicas*.

Por otro lado, a través de la exposición oral del profesor, se les hizo la aclaración a los estudiantes, acerca de las preparaciones se obtuvieron por corte histológico, para compararlas con las que son frescas y muestran células vivas, y aquellas imágenes de microscopía electrónica que se obtienen por otras técnicas y distinguirlas también de las que son grabadas en tiempo real. Para que paulatinamente y tal vez casi sin percatarse fueran haciendo suyo el conocimiento de la estructura celular.

Para el trabajo de laboratorio se observaron ejemplares de: células vivas provenientes de preparaciones frescas de cortes de plantas, de agua de acuario donde visualizan varios protozoarios; de “pulque”, una bebida fermentada de maguey, en la que los estudiantes observan: colonias de bacterias, hongos (las levaduras entre otros), algunos protozoarios, como las amibas. Asimismo en el campo visual apreciaron cortes histológicos, preparaciones fijas o permanentes de células hepáticas humanas, que habían sido teñidas especialmente para destacar las estructuras subcelulares. Un segundo nivel dentro del trabajo del laboratorio es la Práctica de la Fecundación *in vitro* de las almejas (veáse la figura 3.3). Fue diseñada por la Dra. Ma. Elena Calderón Segura, investigadora del Centro de ciencias de la atmósfera y por la autora de este trabajo. A continuación se describe:

Fecundación “*in vitro*” de almejas

Ubicación: Dentro del Programa de Temas Selectos de Biología esta práctica puede apoyar la unidad IV denominada: Interacción Bioquímica, Ingeniería Genética y Biotecnología, especialmente en los temas de: Fecundación *in vitro*, clonación y

* Las fotografías que se obtienen a partir de las cámaras que toman el campo visual del microscopio se denominan microfotografías. Si se obtienen a partir del microscopio fotónico se llaman microfotografías ópticas o fotónicas; mientras que si provienen de algún tipo de microscopio electrónico se llaman microfotografías electrónicas o micrografías.

bioética. O en la unidad de Inmunología para que los alumnos infieran como se da el proceso de reconocimiento de los antígenos y los anticuerpos. Para el programa de Biología V en la unidad IV Comunicación y desarrollo de los seres vivos, en el tema de comunicación extracelular. Finalmente en el programa de Biología IV, la unidad III procesos para la continuidad de la vida.

Objetivo General: que el alumno observe microscópicamente la fecundación "*In vitro*".

Objetivos procedimentales:

Que los alumnos:

- puedan practicar el manejo de los materiales de laboratorio de biología.
- Identifiquen los gametos femeninos y masculinos de las almejas y por lo tanto puedan determinar su sexo.
- Realicen la técnica de la fecundación "*In vitro*".

Objetivos específicos:

Que los alumnos puedan:

- Visualizar que la fecundación es un proceso donde existe reconocimiento a nivel celular por parte de los gametos.
- Valorará la importancia de esta técnica dentro de la biología contemporánea.

Introducción:

Actualmente la fecundación *In vitro* es utilizada en distintos campos de investigación como en la producción de plantas y animales, para los cuales se eligen donantes por tener características especiales; además de facilitar la reproducción asistida en humanos. Esta técnica permite obtener embriones para preservarlos o madurarlos y hasta para realizar en algunos de ellos experimentos de clonación.

La fertilización *in vitro* es una técnica que implica la extracción de los gametos para unirlos en condiciones especiales dentro de un recipiente, por ejemplo una caja de

petri, fuera del organismo materno. Las almejas son animales acuáticos de cuerpo blando que pertenecen al *Phylum mollusca*. Sus órganos reproductores están situados en la masa visceral.

En esta práctica el modelo utilizado son almejas, porque no requieren condiciones estrictas de esterilidad para su manejo, el tamaño de los gametos los hace fácilmente observables, además de son fáciles de conseguir y económicas.

Son organismos con dos valvas o conchas calcáreas que se alimentan principalmente de los sedimentos y por filtración del agua. La mayoría son dioicas, es decir son diferentes morfológica y funcionalmente los “machos” de las “hembras”, aunque algunas son hermafroditas, es decir presentan los dos sexos.

Normalmente los individuos de ambos sexos liberan un gran número de los gametos en el agua, y a menos de que éstos se encuentren, su destino es morir. Sin embargo, son células sumamente especializadas. A la unión de dos gametos se le llama fecundación. Para que se lleve a cabo es necesario que los espermatozoides estén dotados de receptores que capten los estímulos químicos de los óvulos, pero que a su vez éstos tengan receptores especializados para reconocer a uno o varios espermatozoides dependiendo de la especie.

Al entrar en contacto estas dos células es posible observar el cono de fecundación, cuando el óvulo adopta una forma parecida a una pera. Si el tiempo lo permite es posible ver las divisiones celulares, de dos, cuatro, ocho... células.

Materiales

Por cada equipo:

En cristalería: goteros o pipetas Pasteur, dos cajas de Petri, un cristizador mediano, dos vasos de precipitado, portaobjetos excavados, cubreobjetos.

Equipo: microscopio óptico y de disección

Reactivos: suero fisiológico o agua de mar artificial, azul de metileno y aceite de inmersión.

El agua de mar artificial puede prepararse disolviendo en un litro de agua: 30 gr de NaCl, 0.8 g de KCL, 6.6 g de MgSO₄, 1.3 g de CaCl₂ y 0.5 g de NaHCO₃.

Otros: charola de disección, estuche de disección, gasas, papel seda, desarmador y fotocopia de la anatomía de la almeja.

Individual:

Bata, guantes, cubreboca, jabón, estropajo y franela.

Métodos:

1. Colocar la almeja en la charola de disección, de preferencia seleccionar las que estén herméticamente cerradas.
2. Con ayuda del equipo de disección extraer completo el animal y colocarlo inmediatamente en una caja de Petri con suero fisiológico o agua de mar.
3. Utilizando el microscopio de disección y la fotocopia de la anatomía de la almeja localizar los órganos, en particular la gónada, lugar de los gametos. Nota: en algunos casos pueden encontrarse almejas hermafroditas.
4. Una vez localizada la gónada deberá extraerse con las tijeras y las pinzas, además que tendrá que cortarse en trozos muy pequeños, no deberá picarse con aguja de disección porque esto puede dañar los gametos.
5. Los trozos se colocan sobre una gasa encima de un vaso de precipitado dentro del cristalizador, y se lavan con el suero fisiológico o el agua de mar hasta obtener un líquido blanquecino.
6. Algunas gotas de líquido se colocan en un portaobjetos excavado, se le agrega una gota de azul de metileno y se les pone un cubreobjetos, luego se observan al

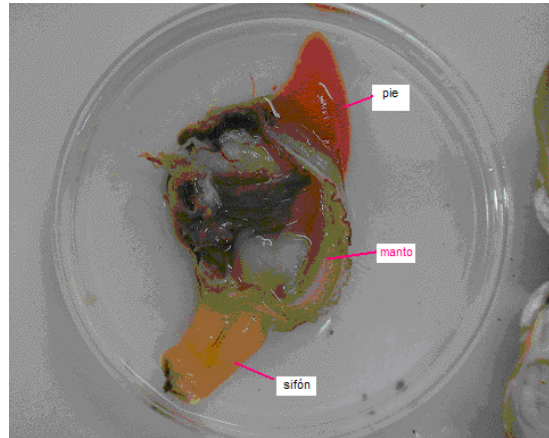
microscopio óptico para verificar la presencia de un cierto tipo de gameto y determinar el sexo de la almeja.

7. Se procede a etiquetar el vaso con la leyenda “Masculino” o “Femenino” porque tenemos la certeza que ahí se encuentran espermatozoides u óvulos.
8. Cuando en nuestro portaobjetos ya tenemos localizado al óvulo, sin levantar el cubreobjetos y por difusión colocamos una gota de los gametos masculinos usando una pipeta Pasteur o un gotero.
9. En el microscopio deberá observarse la fecundación que toma aproximadamente entre 15 minutos y media hora.
10. Podrá observarse que el área donde se localiza el óvulo puede parecernos muy pequeña, sin embargo, en la escala microscópica es una extensión considerable. Es un momento especial, ver, como independientemente de en que lugar del cubre objetos donde se coloque la gota de agua de mar que contiene los espermatozoides, ellos localizarán al óvulo entre 10 y 15 minutos aproximadamente, lo rodearán y uno penetrará la membrana.

a)



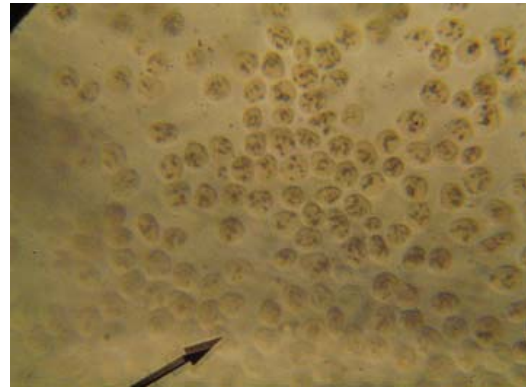
b)



c)



d)



e)

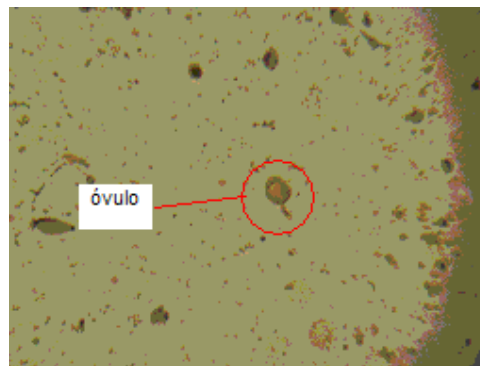


Figura 3.3 Desarrollo de la práctica fecundación in vitro. En el inciso a) la disección del animal para la extracción de las gónadas. Mientras que el inciso b) muestra el cuerpo del animal extraído de su concha. El inciso c) es la observación microscópica de las gónadas. Una muestra diferente de óvulos de la almeja “pata de mula” se observa en el inciso d). Por último en el inciso e) puede verse un óvulo fecundado de almeja. Fotos Edgard Flores (CUM).

Para saber si un óvulo ya ha sido fecundado se observa una estructura en forma de cono o de pera, que se llama cono de fecundación y que indica que un espermatozoide ha logrado penetrar el óvulo. En ocasiones si se utiliza una aguja de disección se causa daño mecánico en el óvulo y puede tomar la forma de una pera y empezar sus divisiones celulares sin la presencia del espermatozoide.

Sugerencias para el profesor:

- Las almejas no deberán estar viejas, es decir tener mal olor o estar abiertas, de lo contrario los gametos estarán muertos.
- No deberán refrigerarse ni colocarse en agua de la llave porque esto afecta a los gametos.
- Si los alumnos no consiguen almejas podrán sustituirse por ostiones, con la pequeña dificultad de localizar también la gónada.
- En algunos casos si el procedimiento de lavado no capturó gametos, pueden colocarse directamente trozos pequeños de la gónada, directamente al portaobjetos excavado.
- Es muy importante que al extraer la gónada no se pierda de vista en la caja de Petri de que tejido fue, para luego facilitar la fecundación.
- Una opción de ganar tiempo será que el profesor hiciera la disección y llevara separadas las gónadas.
- De existir el tiempo, la disposición de los alumnos y del profesor pueden esperarse a que ocurran los procesos de blastulación, división celular de 2, 4, 8, 16, etc. del embrión.

Sugerencias para el alumno:

Al abrir la almeja deberás tener mucho cuidado de que ésta no se cierre bruscamente porque podría machucarte los dedos. Es indispensable que antes de trabajar y al final del trabajo el área sea lavada perfectamente y también que al finalizar el experimento te laves perfectamente las manos.

Bibliografía de la práctica

- Darnell, E.J., Lodish H. y D. Baltimore. 1988. Biología celular y molecular. Barcelona. Labor.
- Scott F.G. 1991. Developmental Biology. Plenum. N.Y.
- <http://teleline.terra.es/personal/nnunez/fecundacioninvitro.html>
- <http://www.cma.ca/cmaj/vol-161/issue-11/1411.htm>

Quiero mencionar que cada que realizo dicha práctica aprendo cosas nuevas. Por ejemplo, el material solicitado por la práctica es almeja “chocolata”, una almeja muy grande de color café y la razón es que sus gametos son muy grandes y es más fácil el manejo de los mismos para los estudiantes, porque los óvulos son perfectamente visibles aun con la lente de menor aumento (10X) con la que cuenta el microscopio.

Alguna vez los estudiantes me llevaron ostión y también es posible hacerla, pero los gametos son muy pequeños, únicamente visibles con la lente de mayor aumento del microscopio (100X). Pero otro sistema que es verdaderamente interesante es el de la “pata de mula”, una almeja de color oscuro que al observarse al microscopio tiene muchos óvulos y fácilmente visibles desde la lente de 10X.

Así, en la unidad que estaba en curso, los estudiantes ya habían comprendido el tema de biomoléculas estructura y función, antecedente al de estructura celular. Por lo que se dio una exposición por parte del profesor para que los estudiantes comprendieran las diferencias entre células procariontes y eucariontes. Ellos tuvieron oportunidad de realizar en el laboratorio observaciones microscópicas, de distintos materiales para establecer las diferencias entre ambas células, por ejemplo observar muestras de “pulque” o de hojas de Elodea del acuario (*Anacharis canadensis*). En el pulque conocieron bacterias, hongos (levaduras) y otros tipos celulares. Y al observar muestras de acuario, en el campo visual de microscopio fotónico, observaron protozoarios, algas y otros microorganismos e inclusive gusanos.

Específicamente observaron muestras de células hepáticas humanas, básicamente porque son un ejemplo de célula eucarionte tipo y también porque se disponía de fotocopias de micrografías electrónicas de estas células, así como de algunos de los

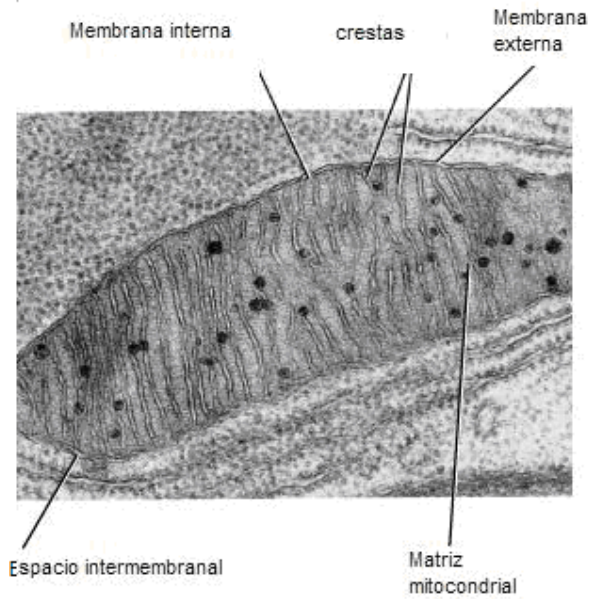
organelos subcelulares que están presentes en ellas (Veáse figura 3.4). De manera que al observar la célula hepática en su microscópio fotónico y luego ver las micrografías de los organelos subcelulares de la misma, los estudiantes podrían comparar las dimensiones de una célula hepática, con todo lo que se ha estudiado de la misma, mediante el uso del microscopio electrónico.

En esta estrategia pedí a los estudiantes que investigaran, leyeran y trabajaran por equipo sobre un cierto organelo subcelular, para que lo expusieran en clase con sus compañeros. Se estableció como condición que buscaran información de calidad, inclusive se les dio bibliografía especializada para ello, libros de biología celular. De manera que no solamente se realizara la lectura del tema. Se les pidió trabajar con los conceptos o ideas clave de sus textos y tener la capacidad de resumir la información más importante.

Simultáneamente en clase se les explicó qué son, cómo se elaboran y por qué son importantes los mapas mentales, a través de un ejercicio que consiste en construir un mapa mental con la idea central de “felicidad”, para que aprendieran la técnica. Se puede observar en la figuras 3.5, 3.6 y 3.7 que hay varios tipos de felicidad, particularmente é últimos mapa lo seleccioné por tratarse de mapas completamente distintos a los que elaboraron la mayoría de los estudiantes. Pueden observarse otros ejemplos de felicidad en el apéndice 1.

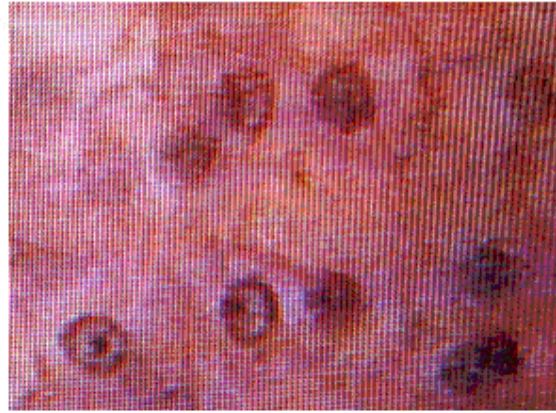
Posteriormente, ahora en parejas, analizaron un artículo de divulgación: “las hormigas acuden puntuales a sus citas” o “la biología del deportista”, para familiarizarlos y formalizar la técnica (para consultar los artículos véanse apéndices 2 y 3). Los estudiantes tuvieron la posibilidad de apropiarse de la herramienta, negociar lo que se iba a plasmar en el mapa y esgrimir sus argumentos de porqué se iba a poner cierta información y no otra en el mismo. Es indispensable destacar que los mencionados artículos cumplían con una función adicional. En el artículo de las hormigas, existe la posibilidad de analizar, aunque de una manera sencilla, las partes del método científico. Mientras que en el artículo de la biología del deportista, está más centrado en el funcionamiento celular y otros interesantes aspectos que inclusive permiten inferir procesos moleculares (Veáanse las figuras 3.8, 3.9 y el apéndice 1).

a)



Microscopia electrónica

b)



Microscopia fotónica

c)

Figura 3.4 Comparación entre observaciones en microscopía óptica o fotónica y electrónica. El material de micrografía electrónica aparece en el inciso a), mientras que lo que observan los alumnos en sus microscopios fotónicos y en la pantalla de televisión del sistema de video son microfotografías fotónicas en b) de células hepáticas humanas, que fueron fijadas y teñidas para destacar el núcleo y están en preparación permanente. Y en c) células vivas de líquenes, la alga es la estructura redondeada, mientras que el hongo es la estructura tubular.

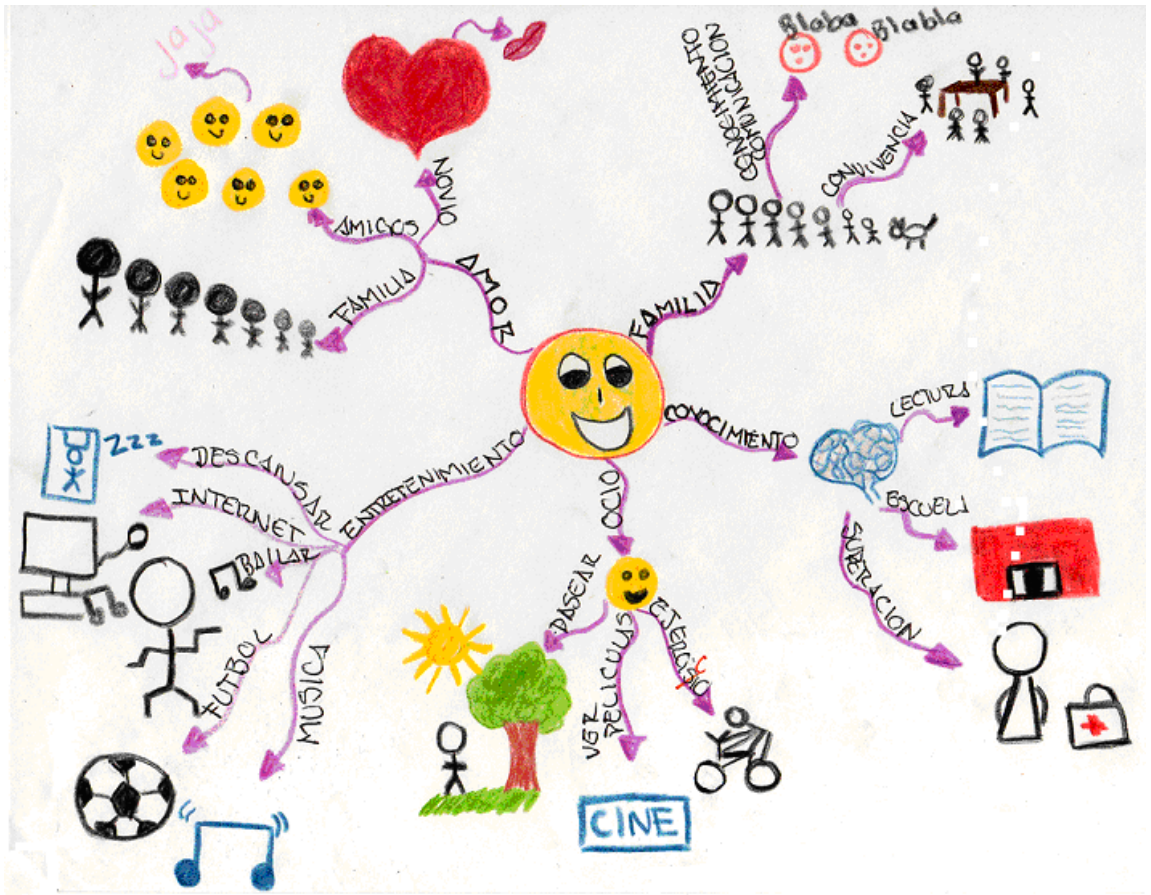


Figura 3.5 Mapa mental de una estudiante de 5º año sobre el tema de la felicidad. Es interesante el uso de muchas imágenes, la jerarquía entre sus ideas, sus gustos, aficiones y metas.

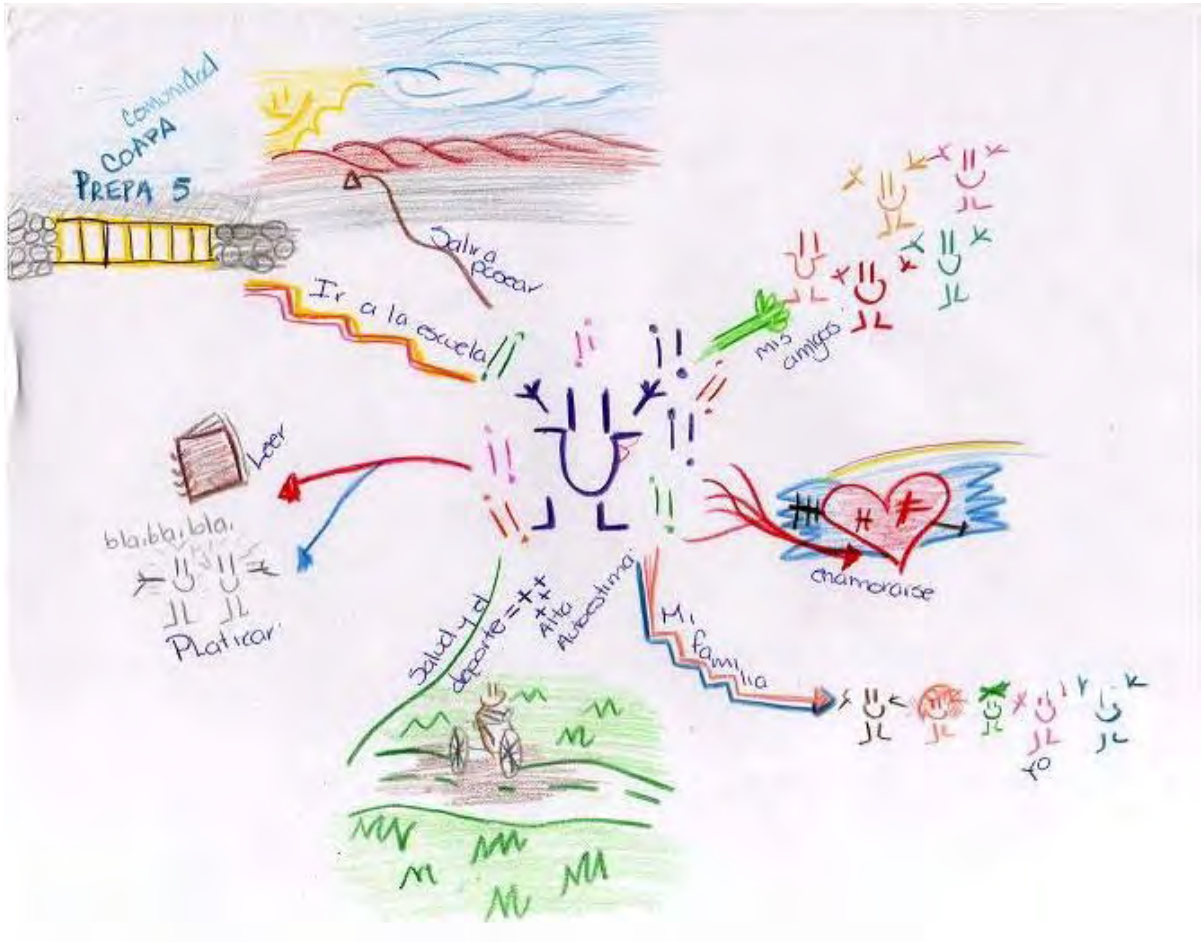


Figura 3.6 Mapa mental de una estudiante de 6º año, combina dibujos con sus ideas, pero no se observa jerarquización en las mismas. Probablemente porque estaba aprendiendo la técnica de los mapas mentales.



Figura 3.7 Mapa mental con sello personal. Obsérvese que el concepto de felicidad aparece en el centro, representado mediante un símbolo a partir del cual giran aspectos personales de la estudiante. Cabe mencionar que éste mapa y el anterior se seleccionaron por ser distintos al resto de los mapas elaborados por los estudiantes.

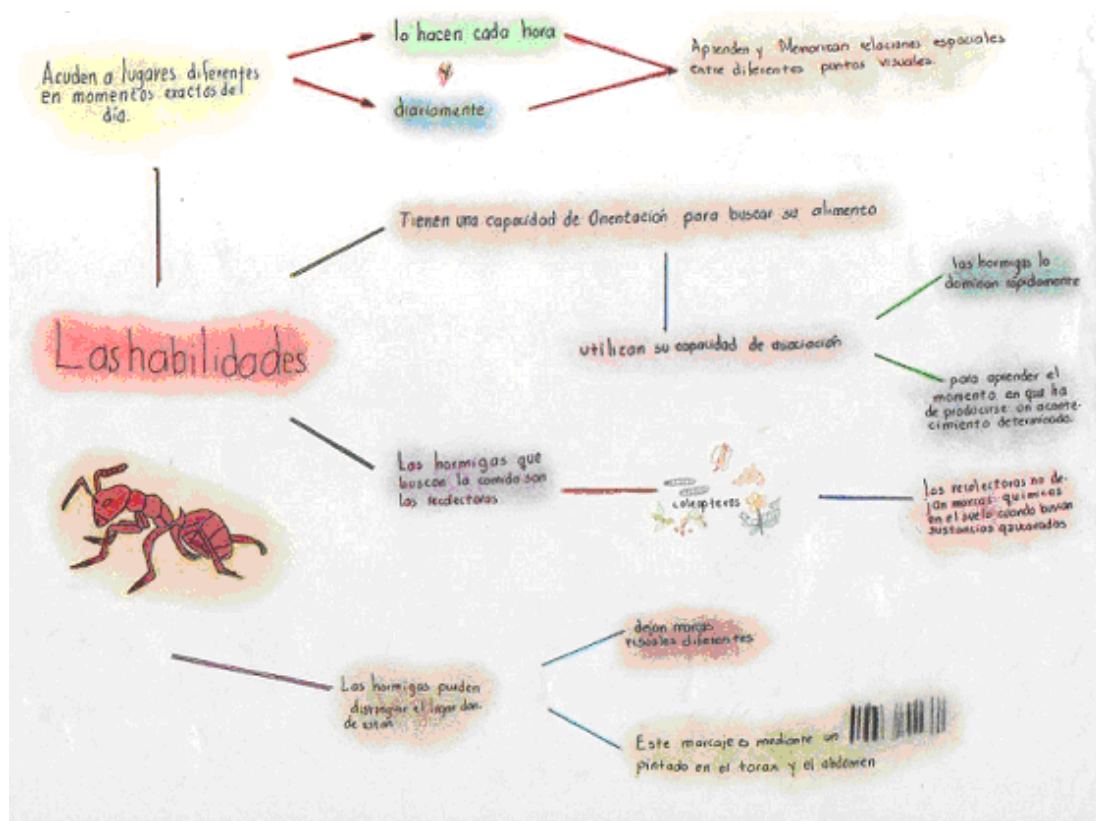


Figura 3.8 Mapa mental de un artículo de divulgación: “Las hormigas acuden puntuales a sus citas”, de la revista Mundo Científico. La información que los estudiantes plasmaron en su mapa es suficiente porque el artículo consta de sólo dos hojas.

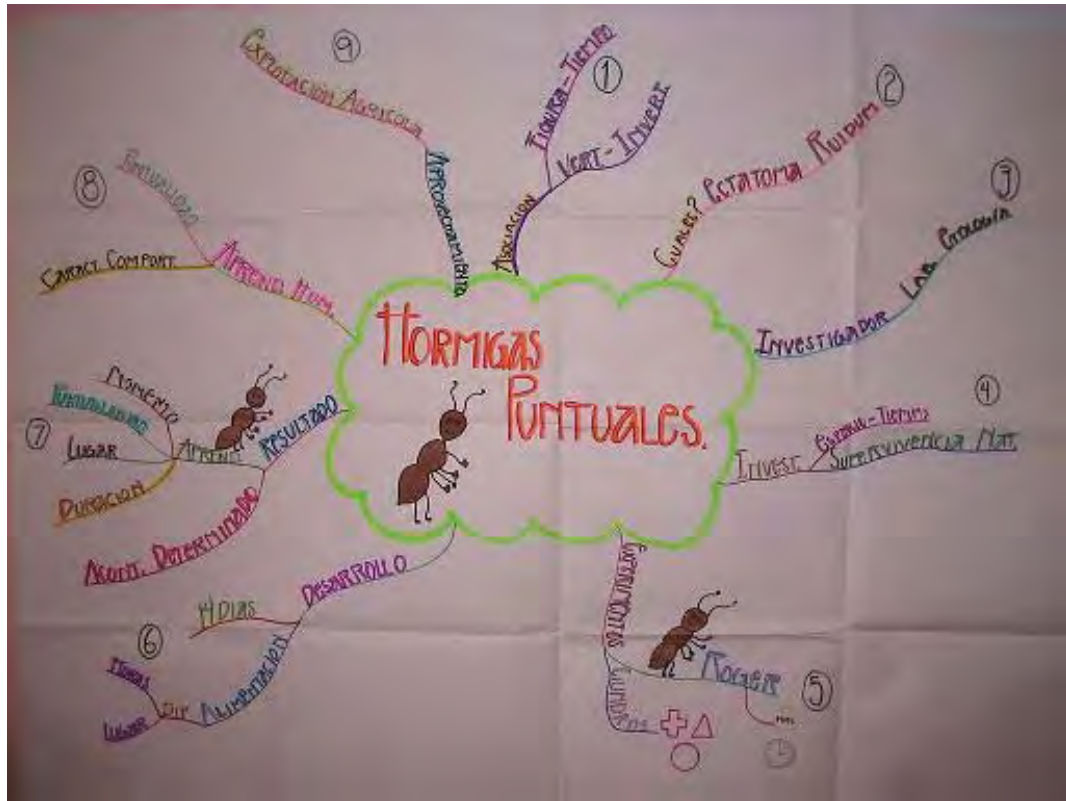


Figura 3.9 Otro mapa mental del artículo “Las hormigas acuden puntuales a sus citas”, de la revista Mundo Científico. A diferencia del mapa anterior las relaciones jerárquicas son notorias de diferentes maneras: números, tamaños de letra, color. Es interesante mencionar que el autor del mapa utilizó distintos códigos para representar la información como la cruz, el triángulo y el círculo.

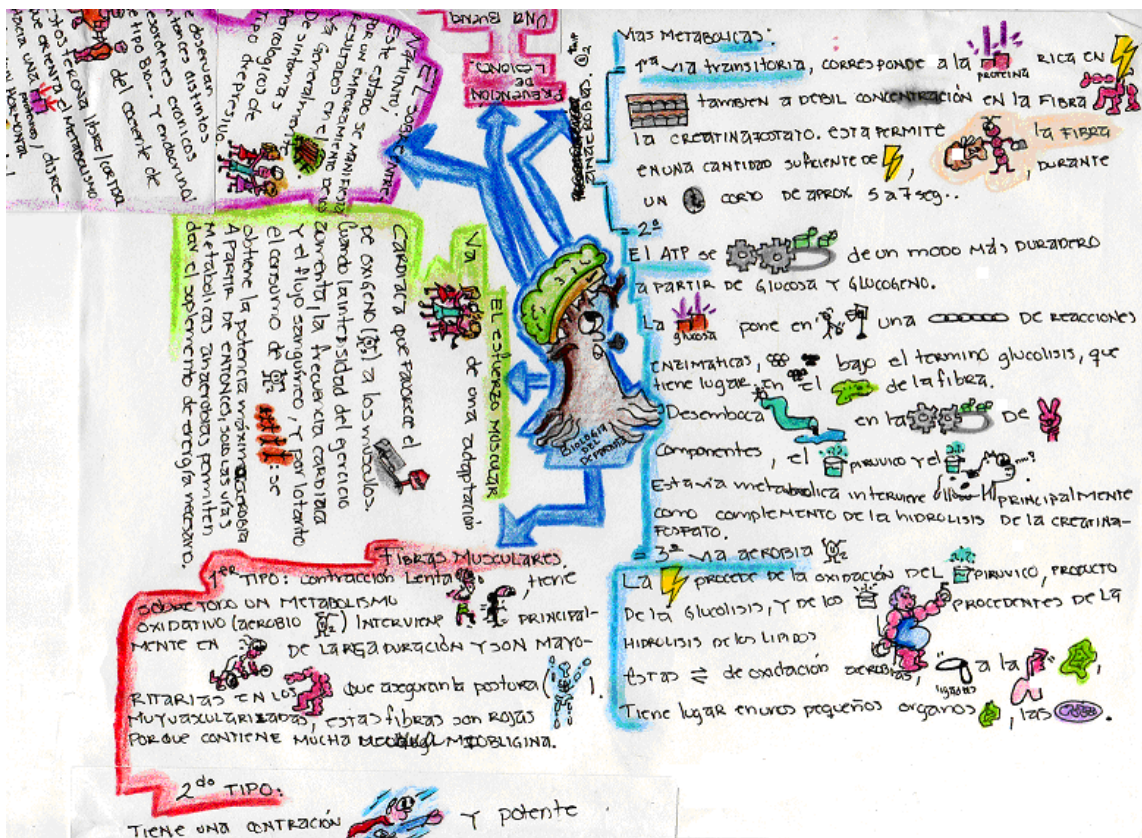


Figura 3.10 Fragmento de un mapa mental de otro artículo de divulgación “La biología del deportista”, también de la revista Mundo Científico. Este mapa es extraordinario, utiliza sus propios códigos visuales y verbales, para entender el lenguaje científico. Aún cuando el artículo era un poco largo para este nivel educativo.

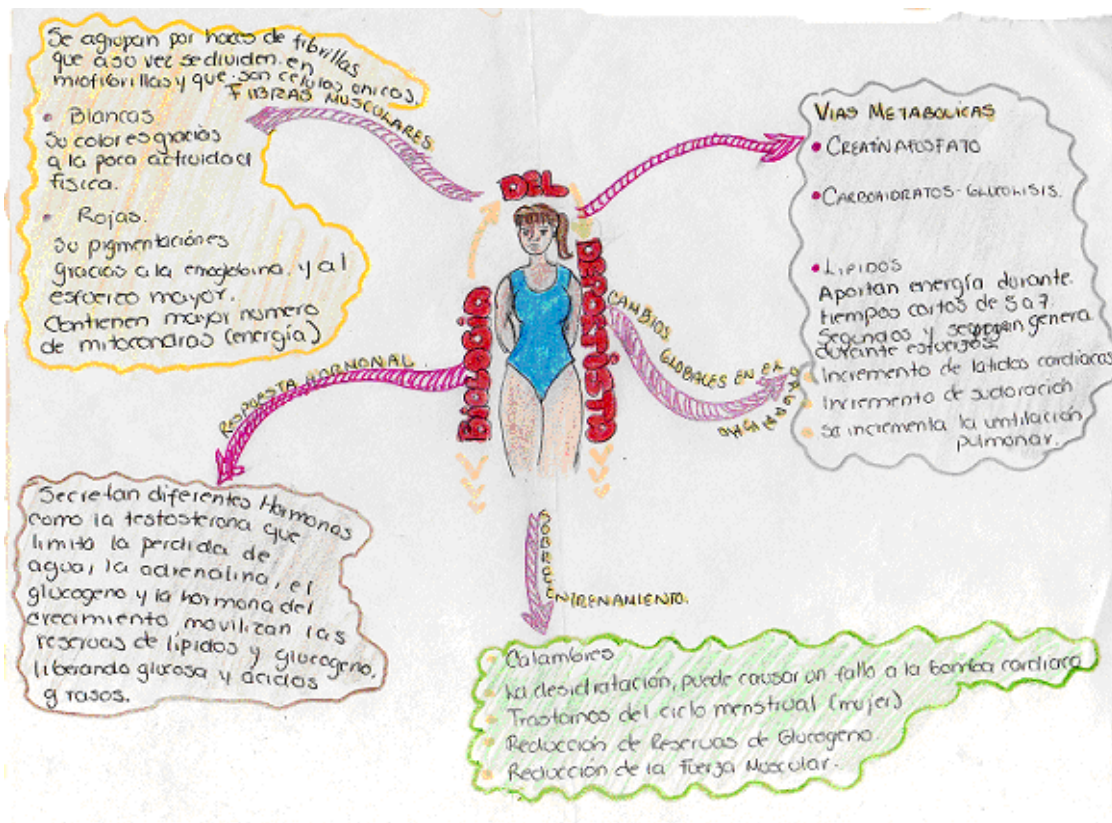


Figura 3.11 Segundo mapa de otro artículo de divulgación: aunque comparte algunos conceptos con el mapa anterior y se observa cierta jerarquía, la cantidad de información plasmada en él es mucho menor con respecto a aquél.

Luego, con todos los elementos anteriores, al ir exponiendo en clase cada uno de los equipos, su organelo celular, el grupo tuvo la oportunidad de ir construyendo el mapa mental de la estructura celular por equipo, e ir conectado organelo por organelo con materiales como: pliegos de papel bond de 1m², colores, tijeras, lápiz adhesivo, fotocopias de las micrografías electrónicas de los organelos y de una célula hepática (los mapas derivados de dicha actividad se mostrarán en el capítulo siguiente).

Al término de la construcción de los mapas mentales, se les revisaron a los estudiantes y se les realimentó en los aspectos que se consideró pertinente. Luego, los estudiantes tuvieron la posibilidad de observar simulaciones y videos de células vivas en tiempo real, para que pudieran apreciar la tridimensionalidad y el movimiento de los organelos celulares.

Quiero señalar que, la tabla 1 describe paso a paso la manera en que se diseñó la estrategia para el aprendizaje de la estructura celular con estudiantes de Biología de 5º año de la ENP. Cabe mencionar que con los alumnos de 6º año, más que centrarse en la estructura celular, el contenido fundamental era que entendieran el contexto social de las células, para que pudieran comprender la comunicación intercelular (Ver la estructura conceptual no.2, que se encuentra en el capítulo 6 casi al final).

Para cerrar éste apartado puede observarse la figura 3.11 que resume los aspectos más importantes desde la parte conceptual, considerados en la metodología. Por ejemplo, la estructura y función de las biomoléculas es un conocimiento de base a partir del cual es posible la construcción de la estructura celular. De ahí se enfatizaron tres aspectos: el trabajo de laboratorio, en el cual es posible la discriminación entre células procariontes y eucariontes; la elaboración de mapas y de simulaciones de células, que permiten organizar la información y percibir de manera dinámica la estructura celular; y el manejo que realizan los estudiantes de la información para comunicarla a sus compañeros en clase.

Tabla 1 Planeación de la Estrategia de aprendizaje de la estructura celular

Sesión	Actividad	Meta esperada
1	Se mostraron algunas de las herramientas de organización gráfica del pensamiento (por ejemplo la UVE de Gowing y algunos mapas conceptuales en clase)	Los estudiantes sean conscientes de las opciones para organizar información.
2	Enseñar la técnica de los mapas mentales a través del ejercicio de "felicidad"	Elaboración de un mapa mental individual de la felicidad
3	A partir de un artículo de divulgación hacer un mapa mental (por ejemplo "Las hormigas acuden puntualmente a sus citas" o "la Biología del deportista")	Elaboración de un mapa mental del artículo de divulgación por equipo (cabe mencionar que trabajan con los conceptos clave).
4	Repartir por equipo cada uno de los organelos subcelulares para su exposición en clase. Se establece que la búsqueda de información debe ser selectiva y después de su análisis, hacer una síntesis.	Mostrar su revisión de información, previa a la exposición, así como los materiales que con los que se van a apoyar para exponer.
5	Observación microscópica de células de hígado, y de algunos otros tipos celulares. Utilizar el sistema de video (una cámara conectada al microscopio y a una televisión). Revisar la exposición que presentarán en la siguiente clase.	Durante la práctica corroboran sus observaciones mediante el sistema de video, entregan un reporte de la práctica con las observaciones celulares, indicando a que número de aumentos realizaron sus observaciones.
6	Realización de la práctica de Fecundación <i>In vitro</i> de la Almeja, donde primero hicieron su disección, e identificaron las partes con ayuda del microscopio estereoscópico. Luego con ayuda del microscopio fotónico determinaron el sexo de cada individuo y después hicieron la fertilización <i>In vitro</i>	Reporte de la práctica, donde además de la introducción, los materiales y métodos, contiene las observaciones de espermatozoides y óvulos antes de fecundar, óvulos fecundados, y si fue posible hasta donde inician las divisiones celulares.
7	Entregar a cada equipo un juego de fotocopias de organelos celulares. Exposición de cada equipo y elaboración simultánea de su mapa mental de célula	Presentación oral de la información por equipo para el resto del grupo, con algún tipo de material de apoyo
8	Cuando la información se va presentado los equipos elaboran un mapa mental para célula eucarionte, basado en las fotocopias de las micrografías	Se obtiene un mapa mental por equipo de la célula hepática que incluye los organelos subcelulares y la información proporcionada por clase y complementada en otras fuentes o comentarios propios de los estudiantes.
9	Para los alumnos de 6º año, la variante fueron los temas de comunicación intercelular, donde ellos elaboraron temas relativos al contexto social de la célula.	Elaboraron un mapa grupal para comunicación intercelular, donde es evidente el contexto social de las células.
10	Para 5º y 6º se usó <i>software</i> elaborado para célula, que venía en libros electrónicos de biología o algunas imágenes descargadas de Internet.	Los estudiantes observaron las simulaciones y videos permitieron la tridimensionalidad y el movimiento intracelular.

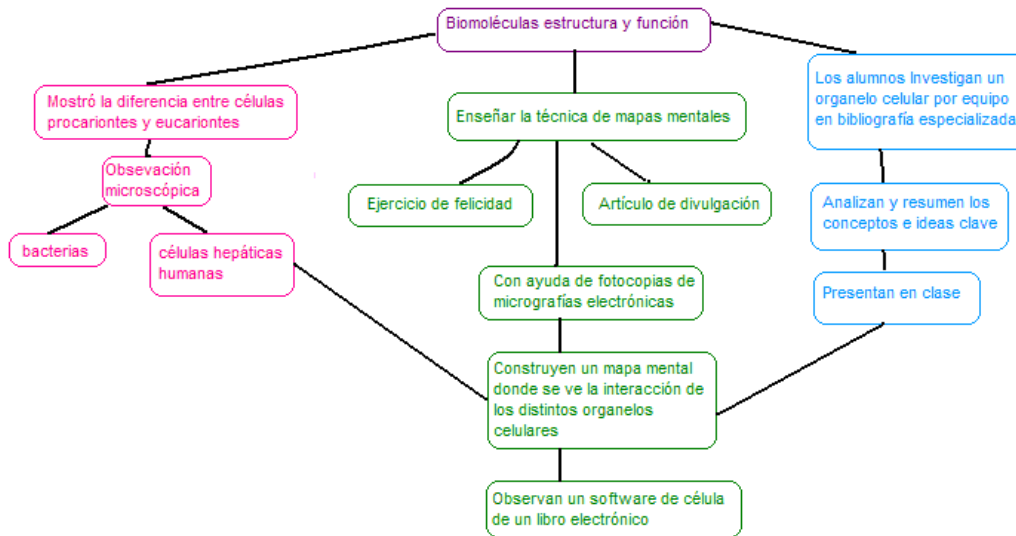


Figura 3.12 Tres aspectos esenciales en la metodología. El contenido base para el aprendizaje de la estructura celular fue biomoléculas. A partir de él se enfatizaron tres aspectos: el trabajo de laboratorio que se observa en color rosa, en el extremo izquierdo; la técnica de los mapas mentales y la observación de programas que simulan alguna característica de la estructura celular, en color verde, en el centro de la imagen; y el manejo que realizan sobre la información, resaltado en color azul, del lado derecho. Este mapa fue elaborado con el programa Eve.

3.6 Consideraciones para el análisis estadístico

Un acercamiento a los datos se hizo al indicar el tamaño de cada uno de los grupos y calcular el promedio, la mediana, la moda y el error estándar para cada uno de ellos. El control fue el examen de biomoléculas, previo al de célula, fue considerado como el pretest. Luego se estableció que aunque todos aprendieron la técnica de mapas mentales, para el examen de célula (post test) hay dos condiciones: los grupos que realizaron los mapas mentales como guía de organización de conceptos e inclusive estrategia de recuerdo. Y los que no quisieron realizar la técnica de los mapas mentales (este sería un segundo control). Entonces los grupos 534 y 526 utilizaron mapas mentales, previamente a su examen de célula, mientras que los grupos 501 y 502 fueron sin mapas mentales.

La hipótesis estadística es: al contrastar el uso o no de los mapas mentales contra los puntajes obtenidos en ambos exámenes dentro de un rango de valores de (0 a 10) se espera un efecto positivo significativo en los grupos que usaron los mapas mentales, distinto a los que no los utilizaron. El resultado podría ir o no en contra de esta hipótesis. Es decir se manipula una variable (los mapas mentales) para ver si tiene efecto sobre la otra (el puntaje del examen).

Se asume que los mapas mentales mejoran la habilidad para organizar y memorizar información (variable independiente), esto se reflejará en los puntajes de los estudiantes en el examen (variable dependiente).

Dicho de otra manera, la predicción sería que los puntajes en la post prueba serían mejores en los estudiantes que utilizaron los mapas mentales con respecto a los de los estudiantes que no los utilizaron (condición control). Cabe mencionar que no hay sesgo porque los 4 grupos tuvieron ocasión de elegir si querían hacer o no el mapa y fue respetada su decisión. Se trata de un diseño experimental con una sola variable (uso de los mapas mentales)

Entonces el examen de biomoléculas puede tomarse como el pre test, mientras que el de célula como post test, una condición es con mapas mentales y la otra es sin mapas mentales.

Si el resultado de la prueba estadística es significativo en nuestro experimento implica que la diferencia entre puntajes de una y otra condición probablemente se deba a los efectos predichos por la variable independiente (el uso de los mapas) y no por una diferencia al azar. Como nivel de significación deseado se elige ($p < 0.05$ o de $p < 0.01$), para que el resultado ocurra por azar entre el 5 y 1% sea de 5 o 1 en 100% de los casos.

Cabe mencionar que se eligió el programa SPSS versión 15 para Windows, porque se trata de un "...programa ordenador que se utiliza para realizar una variedad de análisis estadísticos, desde los más sencillos hasta los más extensos; y ofrece un sistema integrado, potente y fácil de usar para organizar y analizar datos" (Camacho, 2006: XVII).

Y para llevar a cabo los análisis se escogió una prueba no paramétrica de la U de Mann Whitney, porque "La prueba de Mann-Whitney debe usarse para diseños no relacionados con dos condiciones cuando se utilizan sujetos diferentes para cada condición" (Greene y Oliveira, 2006:247), situación que se presenta en los grupos, pero además porque es una prueba que compara dos condiciones a través de rangos. Según estas autoras emplea la siguiente fórmula para el cálculo del estadístico:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_x(n_x + 1)}{2} - T_x$$

Donde n_1 = número de sujetos en el grupo 1

n_2 = número de sujetos en el grupo 2

T_x = el mayor de los totales de los rangos

N_x = número de sujetos en el grupo que obtuvo el mayor de los totales del rango.

Una prueba que se aplicó para contrastar con la anterior fue la prueba de t. La prueba de t es una prueba paramétrica que equivale a la no paramétrica de U Mann Whitney, "El objetivo primordial de la prueba de t no relacionada es comparar la cantidad de variabilidad debida a las diferencias predichas en puntaje entre los dos

grupos con la variabilidad total de los puntajes de los sujetos” (Greene y D’Oliveira *Op. cit.* 78). Mide la variabilidad de los puntajes alrededor de la media. Utiliza la fórmula:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{(\sum x_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum x_2)^2}{n_2} - \frac{(\sum x_1)^2}{n_1} - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2}} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

Donde:

M_1 es la media del grupo 1

M_2 es la media del grupo 2

$\sum x_1^2$ suma de los cuadrados del grupo 1

$\sum x_2^2$ suma de los cuadrados del grupo 2

$(\sum x_1)^2$ cuadrado del total de los puntajes del grupo 1

$(\sum x_2)^2$ cuadrado del total de los puntajes del grupo 2

n_1 número de sujetos del grupo 1

n_2 número de sujetos del grupo 2

CAPÍTULO 4 PROPUESTA PEDAGÓGICA

Una meta inicial de ésta tesis era generar una propuesta tecnológica y didáctica acerca de la manera en que debía ser abordado el tema de la estructura celular, potenciando las habilidades de pensamiento complejo en los estudiantes del bachillerato universitario. Naturalmente dicha propuesta tendría que ser acorde a la multidimensionalidad del aprendizaje, ya mencionada en los capítulos previos; esto es considerar en ella, aspectos disciplinarios, didácticos, tecnológicos, neurobiológicos, éticos y psicológicos.

En ese sentido una propuesta pedagógica derivada de ésta investigación es, establecer algunas consideraciones pertinentes para elaborar un taller sobre la estructura celular. En los párrafos siguientes se detalla dicha estrategia. Los apartados posteriores dan respuesta a las preguntas de investigación que se plantearon inicialmente, las cuales están relacionadas con otras preguntas que aparecen a lo largo de este texto. Cabe hacer notar que la propuesta pedagógica incluye en su planeación los mapas mentales, el curso taller, la elaboración y el desarrollo de un MiniQuest.

4.1 Planeación de la propuesta pedagógica

Es deseable diseñar un curso - taller de 20 horas sobre “Mapas mentales en el aprendizaje de la estructura celular”, durante el cual se ofrecerá a los usuarios un entorno rico de aprendizaje de la célula, desde una perspectiva más integradora y dinámica. Dicho curso promoverá la adquisición de ésta técnica y permitirá la comprensión de una visión de estructura celular más holística y dinámica, que implica entender como una entidad viva a la célula.

El curso deberá incluir los fundamentos teóricos de los mapas mentales, para que los estudiantes sean conscientes de sus potencialidades, usos y límites. Dado que los mapas son herramientas útiles para la síntesis y organización de la información, en la generación de conocimiento.

4.2 Herramientas de la mente: software, mapas mentales, curso - taller y MiniQuest

En el taller se tienen previstas sesiones que involucren el conocimiento y el uso de programas que permitan la organización de información de manera gráfica, basados en el principio de las computadoras como herramientas para potenciar las habilidades de la mente. Así, para familiarizar a los estudiantes se sugiere como una alternativa tecnológica los programas *CMapTools*®, *Inspiration*®, *Visual Mind*® o *Eve*® (Veáse la tabla no. 2). Puede verse en dicha tabla que hay distintos programas disponibles en la red para mapear la información, dependiendo del tipo de habilidad que nosotros deseemos potenciar en los estudiantes. Específicamente, la potencialidad de representaciones gráficas del pensamiento vía los mencionados programas radica en que son muy versátiles, prometedoras y ofrecen la posibilidad de la imaginación asistida por computadora.

Por ejemplo, un programa donde se pueden hacer los mapas mentales y las estructuras conceptuales es el programa *Eve*®. Su uso favorece el desarrollo de habilidades para organizar la información. Tiene varias ventajas, es gratuito, fácil de descargar, porque es poco pesado en MBytes; la interfaz es muy intuitiva, emplea colores, códigos, formas, líneas, entre otros. En cada etiqueta permite integrar un block de notas para ampliar la información (Véase figura 4.1).

Otro programa de fuente abierta, es el *CMapTools*®, de Alberto Cañas del *Institute for Human & Machine Cognition* de Pensacola, Florida. Dicho programa es más útil para los mapas conceptuales y las estructuras conceptuales, que para los mapas mentales. Es ideal para apoyar a los estudiantes en la construcción de relaciones de tipo jerárquico entre conceptos. Es fácil de usar, porque es amigable y tiene muchos objetos prediseñados, los que favorece la inserción de imágenes y videos, así como ligar varios mapas entre sí; con lo que la estructura se hace más dinámica y a la vez más compleja. Por lo que los estudiantes tendrán una visión global, tridimensional o multidimensional del concepto.

Tabla No.2 Comparación entre distintas herramientas de visualización propias para el mapeo de información. Observe que algunas de ellas son de descarga gratuita (código abierto) mientras que otras son de descarga mediante pago.

Nombre del programa	Software de pago /fuente abierta	Características	Observaciones
CMapTools©	Código abierto	Tiene la posibilidad de incluir en el mapa: imagen, video, texto, sonido y tridimensionalidad	Pueden hacerse mapas conceptuales y estructuras conceptuales. Es ideal en relaciones jerárquicas entre conceptos. También es útil para presentaciones electrónicas
Inspiration©	Descarga mediante pago	Incluye: texto, imagen, video, distintas formas y colores.	Pueden hacerse estructuras conceptuales. Diferentes relaciones e interconexiones entre conceptos.
Eve©	Código abierto	Los mapas mentales pueden tener distintas formas, colores, líneas rectas y curvas; es lógico y fácil.	Los mapas mentales y las estructuras conceptuales son viables dentro de este programa. Pesa poco en MBytes y aunque la presentación de los mapas es sencilla pero estética.
Visual Mind© o Mind Mapping©	De pago	Con imágenes, colores, ramas flexibles. Visual Mind permite la inclusión de notas, hipervínculos, videos y mucho más	Estos programas son ideales para elaborar los mapas mentales, tomar notas y estructurar procesos de pensamiento.
Theseus©	De pago	Ofrece: imágenes, formas, preguntas, colores, entre otros,	Es específico para estructurar procesos de pensamiento crítico a través de preguntas.
Visual Thesaurus©	De pago	Con mapas semánticos dinámicos e interactivos. Ofrece el despliegue de nodos animados.	A partir de un concepto, es posible ligar una gran cantidad de conceptos con lo que se infiere la complejidad de las redes conceptuales.

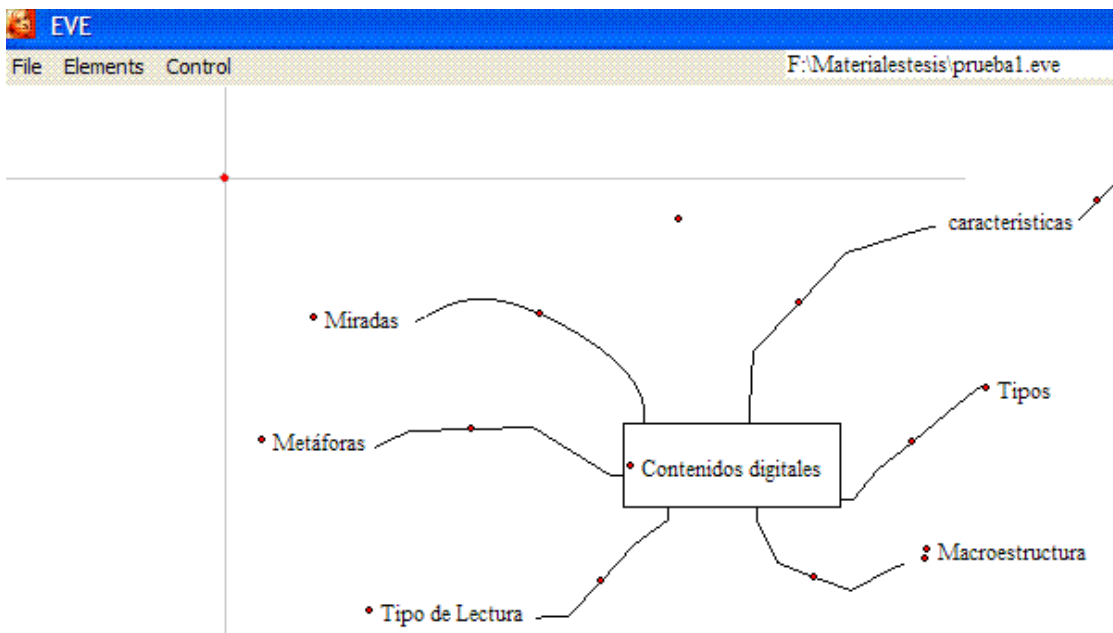
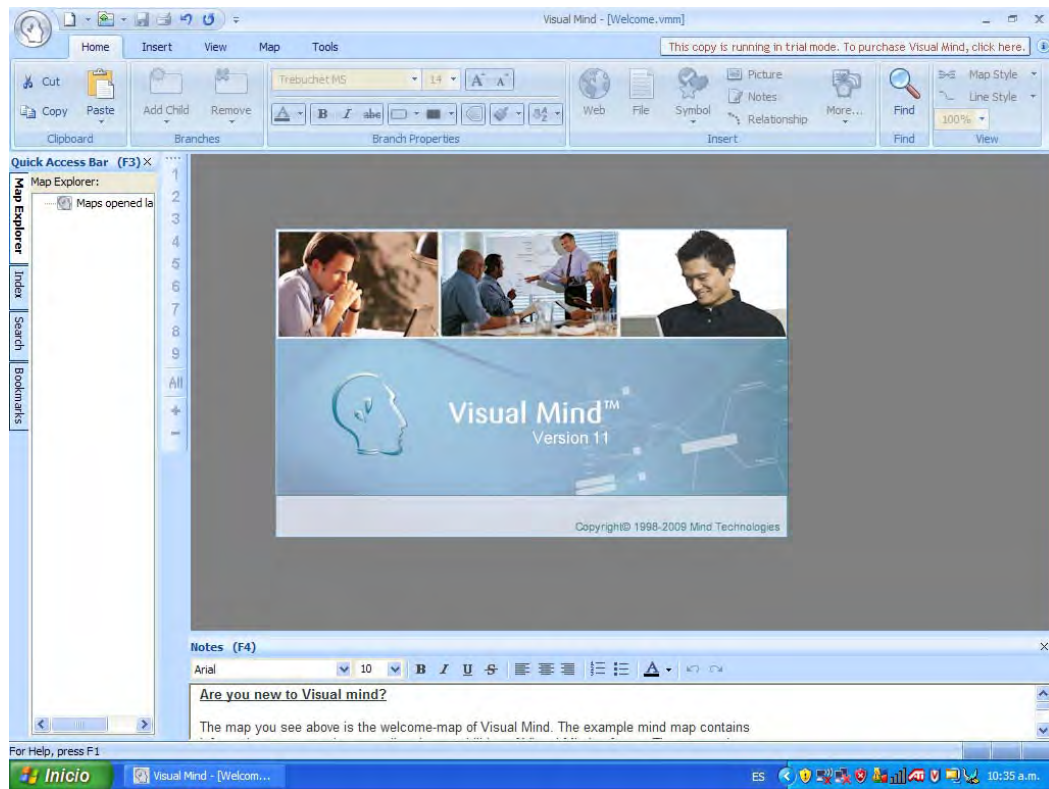


Figura 4.1 Comparación entre los programas Visual Mind© y Eve©. Visual Mind© aparece en la parte superior, se observa la posibilidad de desarrollar un mapa mental en pantalla. En la parte inferior la interfaz del programa Eve©, cuenta con figura, líneas y se pueden construir mapas mentales y estructuras conceptuales.

Inspiration® es un programa de organización visual de la información, que aunque es de pago, tiene muchas bondades. Por ejemplo, es posible construir estructuras conceptuales como las que aparecen en la figura 3.1. En ellas se puede incluir texto, video, imagen, color y códigos. Razón por la cual la construcción del mapa es más dinámica y tridimensional, ayuda a una visión más amplia del concepto o tema estudiado.

Los programas *Visual Mind*® y *Mind Mapping*® son específicos para elaborar mapas mentales, porque ayudan a estructurar la información de manera muy parecida a hacer los mapas mentales en papel. Aun cuando implican un costo por su descarga, reducen el tiempo de elaboración de los mismos, además permiten generar mapas, donde aunado a la importancia del contenido, una adecuada presentación de la información, la facilidad en la organización de la información, pueden obtenerse mapas estéticos que potencien la sistematización y el recuerdo de la información presente en ellos³⁴.

Una ventaja adicional del programa *Visual Mind*® es que te permite exportar el mapa como: un proyecto de *Microsoft*®, en formato pdf, como powerpoint o documento de Word, lo cual es favorable cuando se tiene que hacer una presentación electrónica o se pretende colocar en un sitio virtual (“subir”).

El programa *Theseus*® (Teseo) favorece un mapeo que prevé el desarrollo de otras habilidades de pensamiento, no únicamente de organización de información. Fue creado para generar preguntas y conducir al estudiante hacia el pensamiento crítico. Este software cuenta con figuras, colores, preguntas, formas y cierta interactividad. Su uso involucra un costo³⁵.

Un programa diferente pero no por ello menos interesante es *Visual Thesaurus*, ofrece un mapeo especial de los conceptos, pero en una lógica de pensamiento distinta a los programas anteriores debido a que no sirve para generar mapas, sino

³⁴ <http://www.visual-mind.com> consultada en julio de 2009 por Miriam Muñoz

³⁵ <http://www.skymark.com/Theseus/overview.asp> consultada en marzo de 2009 por Miriam Muñoz

para admirarlos y estimular la imaginación. Es un programa muy dinámico e interactivo que cuenta con animaciones a manera de nodos que despliegan otros nodos. Por ejemplo se establece una simulación dinámica al acercarte a un concepto, porque abre la posibilidad de activar nodos nuevos, en los que la información no solamente se interconecta entre conceptos de un solo campo de conocimiento, sino entre varios campos. Lo cual nos proporciona una idea de la riqueza conceptual disponible en una constelación de conceptos infinita. Así la conexión entre conceptos se incrementa notablemente y puede ser sintáctica o semántica. Aunque el programa implica pago por su descarga, es una suerte de diccionario visual y dinámico. Es en inglés e incluye el sonido de las palabras, así como su pronunciación. Podría apoyar a los estudiantes en ampliar el horizonte conceptual y de interdisciplinariedad de los conceptos (Veánse figuras 4.2 y 4.3).

Por otra parte, en el sitio que propongo no únicamente se incluirán programas sino también, algunas imágenes de células y de organelos subcelulares. Así como algunas animaciones y simulaciones dentro de la interfase. Por ejemplo, la galería de imágenes de células que está disponible en Google, o los videos y simulaciones en tiempo real de libros como *Molecular Cell Biology* de Lodish, *et al.* (1995), o la *Biología* de Starr y Tagart (2004). La figura 4.4 presenta la estructura deseable de una interfase rica, un entorno que contempla lecturas, audios, videos, imágenes, exámenes de célula, además de una biblioteca virtual y herramientas para construir mapas mentales, entre otros.

Desde la dimensión tecnológica no sólo sería importante considerar el tipo de programa para realizar mapas, como las herramientas de visualización, sino algunas propuestas didácticas para un uso racional de la tecnología como las *webquest* y las *MiniQuest* de Dodge y March (2002). Un ejemplo de *miniquest* que propongo es el siguiente:



Figura 4.2 Página principal del Programa Visual Thesaurus©, donde al acceder a este sitio, hay una demostración de la manera en que se mueve tridimensionalmente para conectar distintos conceptos. Se muestra el costo del programa en dos versiones. <http://www.visualthesaurus.com>

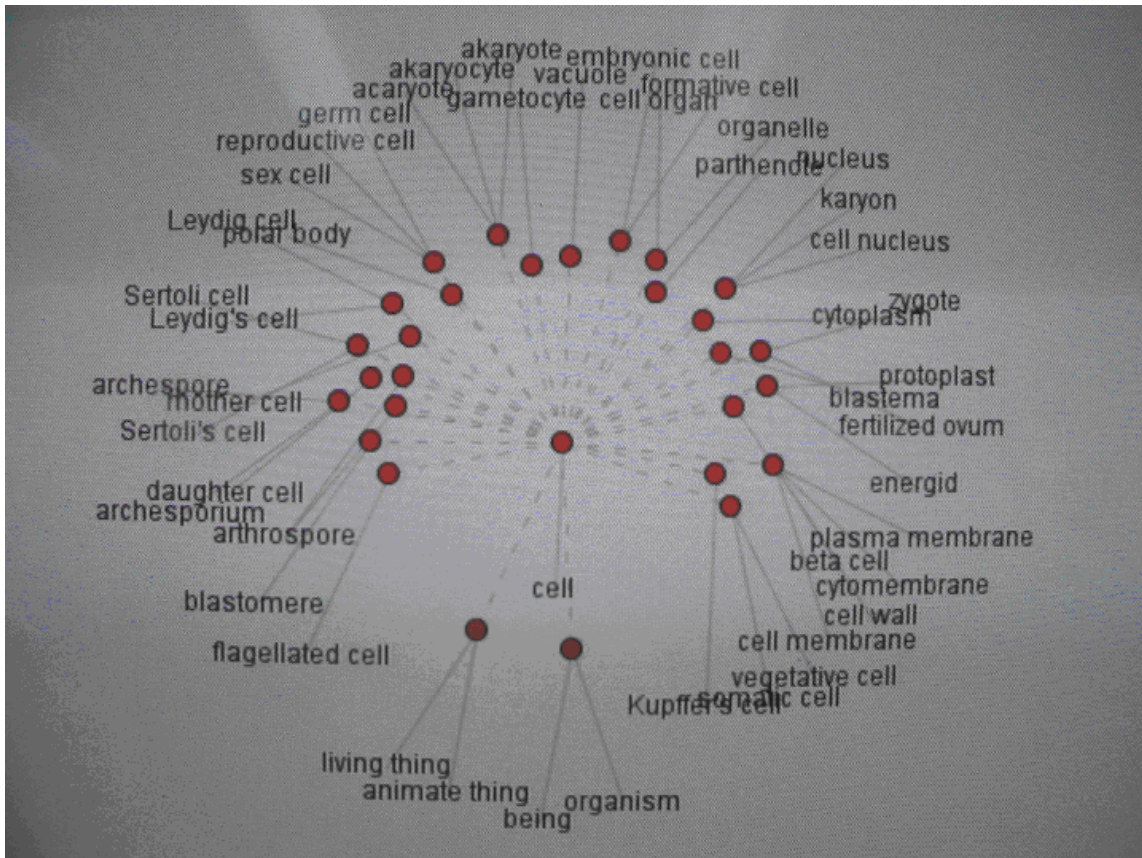


Figura 4.3 Funcionamiento del programa Visual Thesaurus©: al solicitar el nodo del concepto de célula (*cell*) despliega varios nodos de conceptos asociados; por ejemplo del lado izquierdo del mapa aparecen tipos celulares como las células de Leydig y las de Sertoli (Leydig's cell Sertolli cells). Aparecen los nombres de células del desarrollo embrionario como el óvulo fertilizado (*fertilized ovum*), igualmente se destacan organelos subcelulares como la membrana plasmática (plasma membrana) o la pared celular de las células vegetales (*cell wall*).

4.3 Miniquest

Tratará sobre la utilización de las células madre³⁶ en un problema concreto y desde la mirada de la ética, a fin de confrontar los posibles argumentos a favor o en contra de su uso.

¿Deberían ser utilizadas las células madre en el tratamiento de enfermedades como la diabetes, en injertos de piel o el Alzheimer, entre otros?

Introducción: nuestro cuerpo está conformado por aproximadamente 200 tipos celulares diferentes, que surgieron de la unión de dos células sexuales, un óvulo y un espermatozoide, para formar una sola célula, un óvulo fertilizado. Las células madre o troncales (*stem cells*) tienen características que las hacen especiales, por ejemplo, se consideran inmortales, porque pueden dar origen a prácticamente cualquier célula del cuerpo, pero también proliferan rápidamente y en algunas donaciones de órganos se ha visto que activan el sistema inmunológico del receptor.

Proceso

Para responder a la pregunta consulta de los siguientes sitios de Internet, o si lo prefieres consulta libros o revistas disponibles en Internet. Fundamenta tu respuesta generando tres argumentos en pro o en contra, escríbelos en un texto breve, donde des detalles del por qué pueden ser usadas, o bien que implicaciones deberían considerarse en su uso.

Recursos

<http://www.biologia.arizona.edu/> Página educativa de Biología, de la Universidad de Arizona. Recursos interactivos para aprender Biología. Contiene algunos tutoriales sobre el tema y textos sobre Biología celular.

³⁶ “Las primeras células que produce el óvulo fecundado por e espermatozoide tienen el potencial de formar un ser humano completo, de ahí su nombre: células troncales o madre *totipotenciales*” (Calderón y López 2005:10). Las células madre se denominan totipotenciales o pluripotenciales, son capaces de dar origen a cualquier tipo celular de un organismo. Se pueden obtener de embriones abortados espontáneamente, en el cordón umbilical y la placenta de los recién nacidos, por clonación o provenir de cultivos con valor comercial.

<http://www.actionbioscience.org/spanishdirectory.html> Página del American Institute of Biological Science. Sitio educativo no comercial, que ahora la alfabetización en Ciencias Biológicas. En el apartado asuntos críticos para la Biotecnología, dar clic en células madre para terapias celulares.

http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/clonembrion.htm#_Toc3643836

Página de Enrique Iones Pareja del Departamento de Microbiología e Instituto de Biotecnología de la Universidad de Granada. Un sitio muy rico que incluye videos, imágenes e información sobre la terapia con células madre para diferentes enfermedades, los cuidados que deben tenerse etc.

<http://www.cordondvida.com/medicos.html> Página web de una institución privada de Medellín, Colombia, que pertenece al Comité de Bancos de tejidos de Antioquia, presenta información sobre células madre, las enfermedades que potencialmente podrían curarse y la conservación de las células y de dónde se obtienen.

Al final de la búsqueda el grupo puede organizar un debate para contrastar ambas posturas, respetar al que expresa sus ideas, examinar la validez de los argumentos y contra argumentos, tomar una decisión (mantener su postura o cambiarla) con respecto a algunos problemas actuales que inciden directamente en el uso de las células madre.

Por otra parte, cabe mencionar que el curso será publicado en: un CD, un blog o un lugar de Internet, como una LMS (véase la figura 4.4). Y deben considerarse las características pedagógicas que tendrá, así como la manera de ser evaluado. Se diseñará un guión de contenido, similar al que aparece en la dimensión disciplinaria (capítulo dos de ésta tesis) para la aplicación y otro para la interfaz, cuidando que al usuario pueda explorar libremente la interfase y ésta sea muy intuitiva.

Es necesario enfatizar que la elección del tema para la propuesta pedagógica de aplicación fue la estructura celular, pero en realidad podría utilizarse cualquier otro, realizando la investigación previa correspondiente. Dicho tema se escogió por ser en nuestra lista el segundo tema difícil de aprender por los alumnos de 5º año de bachillerato, pero es esencial para comprender otros temas profundos como:

inmunología, bioquímica, entre otros, que podrían tener repercusiones sociales. Pero es atractivo también porque presenta problemas para su aprendizaje.

4.4 Rúbrica

Aparentemente una forma de medir el éxito del modelaje mental es el tiempo de respuesta, sin embargo, como se sugirió en el capítulo previo, el evaluar los modelos implica que ellos representen mejor la interconexión de las ideas o que comprendan los conceptos.

Al respecto las profesoras Irma Castelán Sánchez y Ana María Torices Jiménez, del Plantel CCH Naucalpan, esta última con doce años de experiencia en el uso y la enseñanza de los mapas mentales para estudiantes y profesores de bachillerato, elaboraron una Rúbrica (Veáse figura 4.5) para evaluar mapas mentales. Aunque este mapa considera los contenidos, la manera en qué se agrupan, dónde se ubican y la forma en que los conceptos se conectan, sería fundamental considerar los siguientes aspectos que a mi juicio transformaría esta rúbrica o al menos la complementarían.

1. Claridad y número de conceptos involucrados, o el uso de conceptos sintéticos, aquellos que son más abstractos o incluyen a otros conceptos.
2. Creatividad que el estudiantes exprese los conceptos con sus propios códigos o ideas.

Profundidad, si alimenta o no el mapa con información proveniente de otras fuentes o inclusive de ideas propias.

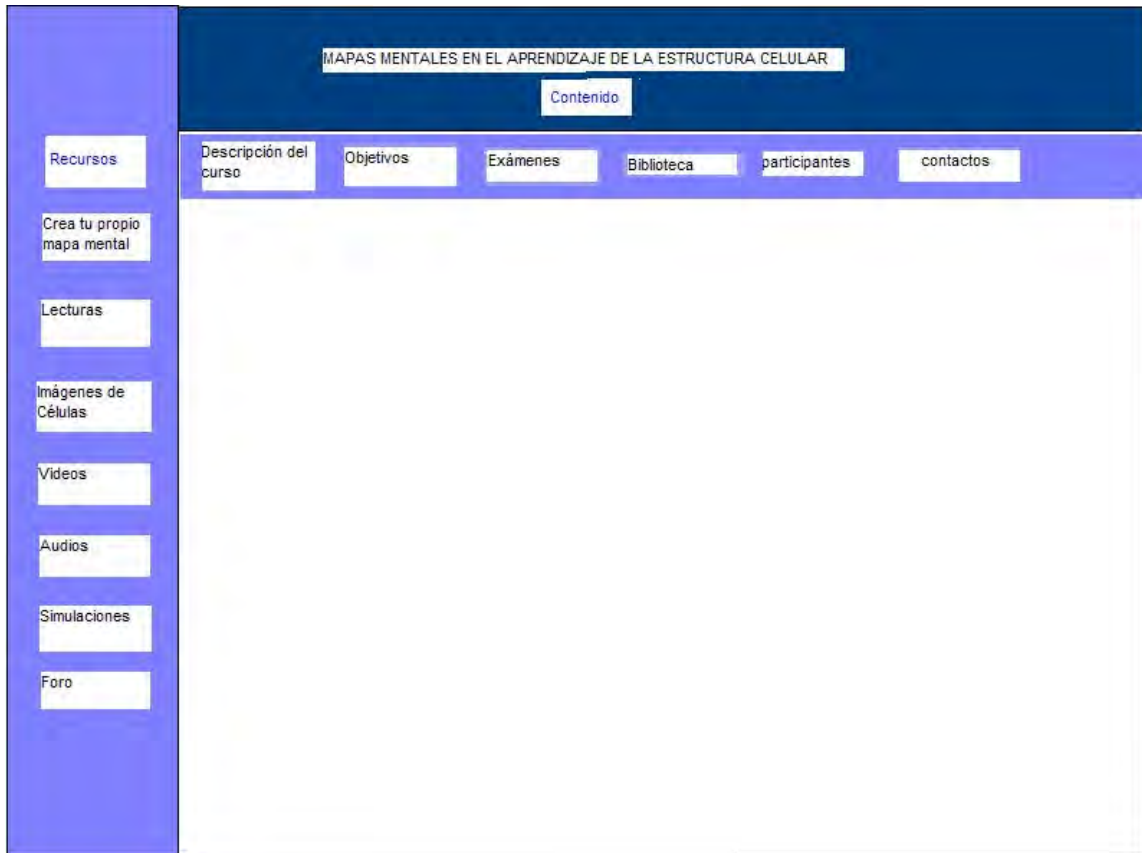


Figura 4.4 diseño de la interfaz para el curso taller de mapas mentales en el aprendizaje de la estructura celular. Hay una riqueza de opciones como el foro, los audios, simulaciones y lecturas para estimular cognitivamente a los estudiantes.

Rúbrica para un Mapa Mental

CRITERIOS	AVANZADO	INTERMEDIO	PRINCIPIANTES
Contenidos (4 Puntos)	Incluye todas las palabras e ideas claves para desarrollar el tema. (4 puntos)	Incluye más del 80% de las palabras e ideas claves para desarrollar el tema. (3 puntos)	Incluye menos del 80% de las palabras e ideas claves para desarrollar el tema. (2 a 0 puntos)
Ubicación y Agrupación (6 puntos)	Ubican las palabras e ideas principales en el centro. Las palabras e ideas subordinadas se presentan en forma irradiante y se agrupan de acuerdo a su naturaleza y jerarquía. La agrupación y la jerarquía están reforzadas por un código de colores. (6 puntos)	Presentan pequeños errores (1 o 2) al agrupar las palabras e ideas de acuerdo a su naturaleza y/o jerarquía. La agrupación y la jerarquía no están reforzadas por un código de colores. (5 a 4 puntos)	Presentan errores al agrupar las palabras e ideas principales en el centro o muchos errores (3 o más) al agrupar las ideas secundarias de acuerdo a su naturaleza y/o jerarquía. La agrupación y la jerarquía no están reforzadas por un código de colores. (3 a 0 puntos)
Conexiones (6 Puntos)	Todas las palabras e ideas claves están conectadas correctamente tanto intra como intergrupos por medio de un código de símbolos. (6 puntos)	Algunas de las palabras e ideas claves (1 a 3) no están conectadas correctamente tanto intra como intergrupos por medio de un código de símbolos. (5 a 3 puntos)	Varias de las palabras e ideas claves (4 o más) no están conectadas correctamente tanto intra como intergrupos por medio de un código de símbolos. (2 a 0 puntos)
Imágenes y Colores (4 puntos)	Más del 50% del mapa se maneja con imágenes y se utilizan 5 colores. (4 puntos)	Menos del 50% del mapa se maneja con imágenes y se utilizan 4 colores. (3 puntos)	Del 20% al 50% del mapa se maneja con imágenes y se utilizan menos de 4 colores. (2 a 0 puntos)

Figura 4.5 Rúbrica para un Mapa Mental propuesta por Castellan y Torices 2000. Se asigna mayor puntuación especial si en los contenidos se incluyen todas las palabras o ideas clave. Si hay jerarquía o subordinación de ideas. También al establecer las conexiones pertinentes y al manejar colores o imágenes

4.3 Propuesta pedagógica para el programa del “Curso - taller de estructura celular con mapas mentales”.

- Duración: 20 horas
- Tema: estructura espacial celular
- Modalidad: mixta o híbrida
- Dirigido a: estudiantes del área Químico – Biológica que estén interesados en organizar gráficamente la información
- Incluye software, fotos, animaciones.
- Se publicará en blog, CD, LMS o a manera de un e – portafolio.
- Será elaborado un guión de entrevista

Objetivo: promover en los participantes el uso de ésta técnica, a fin de que comprendan desde los aspectos neurobiológicos mínimos hasta sus potencialidades, usos y límites.

Dirigido a las personas interesadas en hacer un uso adecuado y coherente de la información, vía la representación gráfica, para: recordar, organizar, jerarquizar e inclusive construir conocimiento.

Recursos: fotocopias de las micrografías electrónicas de los diferentes organelos celulares, tijeras, microscopios, preparaciones histológicas de hígado, hojas tamaño oficio, papel bond (1m²), lápices o plumones de colores, pegamento, computadora con Internet y lector de CD.

Temario:

- I) El cerebro, algunas potencialidades y especializaciones importantes en el aprendizaje.
- II) Contexto actual del aprendizaje. Retos para los profesores o los alumnos contemporáneos.
- III) La organización gráfica del pensamiento
- IV) Los mapas mentales (la técnica)
- V) Actividad de la “felicidad”
- VI) Algunas aplicaciones
- VII) Evaluación.

La propuesta de la organización por sesión para el taller aparece en la tabla No. 3. Puede verse que se han hecho modificaciones al “piloto” original, tales como utilizar una miniquest, incorporar software para mapas mentales, simulaciones y videos de células vivas en tiempo real. Sin embargo, el trabajo de laboratorio sigue teniendo un papel fundamental en la formación de los estudiantes, tal como fue plasmado en el capítulo anterior.

Forma de trabajo: Algunas lecturas como las relativas al funcionamiento del cerebro y el pretest pueden estar disponibles en Internet, en una página web, un blog o en un CD. También dichos espacios virtuales pueden tener listos para ser ejecutados: los videos de células en tiempo real, las imágenes o las animaciones. Pero habrá sesiones en el aula para enseñarles a los estudiantes la técnica de los mapas mentales, o analizar el artículo de divulgación para elaborar mapas mentales. Además habrá trabajo en el laboratorio para la observación de ejemplares de células de distintos tipos: preparaciones frescas y preparaciones permanentes (para que puedan comparar entre células vivas y células muertas, preparadas especialmente para destacar alguna estructura en particular).

Tabla 3 Propuesta pedagógica para el “Curso – taller del aprendizaje de la estructura celular con mapas mentales”. Planeación de actividades: diez sesiones de dos horas cada una. Algunas se efectuarían después de las clases para no interferir con el horario habitual de los estudiantes

Número de Sesión	Actividad	Meta esperada
1	Encuadre e importancia del proyecto educativo. Pretest.	Los participantes sean conscientes de la importancia del curso y respondan el cuestionario (pretest).
2	El cerebro, algunas de sus potencialidades y especializaciones importantes en el aprendizaje.	Que comprendan que los mapas mentales tienen una base psicológica, neurobiológica y didáctica
3	Organización gráfica del pensamiento (algunos ejemplos)	Los participantes sean conscientes que hay varias opciones para organizar información de manera gráfica
4	Enseñar la técnica de los mapas mentales a través del ejercicio de “felicidad”.	Crear un mapa mental de felicidad, de manera individual. Compartir y comparar los mapas.
5	Hacer por parejas un mapa mental de un artículo de divulgación, donde los participantes mediante el diálogo argumentarán ¿cuáles son las ideas clave del artículo? Repartir exposición de organelos celulares por equipo.	Elaboración de un mapa mental del artículo de divulgación, en el que sean evidentes las ideas clave.
6	Observación microscópica de células de hígado, y de algunos otros tipos celulares. Utilizar el sistema de video. Revisar la exposición que presentarán en la siguiente clase.	Reporte de la práctica con esquemas de las observaciones de los distintos tipos celulares.
7	Entregar a cada equipo un juego de fotocopias de organelos celulares. Exposición de cada equipo y elaboración simultánea de su mapa mental de célula	Realización de un mapa mental de célula por equipo
8	Realización de la práctica de la “Fecundación <i>In vitro</i> ”	Entrega de reporte de la práctica
9	Uso del software elaborado para célula, ya sea para elaborar un mapa grupal o como material educativo. Observar videos de células en tiempo real Postest.	Elaboración de un mapa mental grupal de célula donde se recupere la información de las observaciones de laboratorio, de las presentaciones por equipo y de los materiales educativos vistos en clase Responder el Postest.
10	Entrevistas con estudiantes voluntarios.	Grabación de la entrevista.

CAPÍTULO 5 EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo expongo la experiencia del estudio “piloto” con los estudiantes, los resultados a través de los análisis gráfico, estadístico (a través de la prueba de U Mann Whitney y t de Student) y no estadístico. Se da respuesta a las preguntas iniciales, para cerrar con el valor didáctico de la imagen en los mapas mentales.

5.1 Estudio “piloto”

En el ciclo escolar 2007, pedí a mis estudiantes, previa lectura de los temas y exposición de los mismos, que elaboraran durante la clase, un mapa mental de célula; con la firme intención de que su proceso de adquisición de conocimiento no fuera como se percibe en la mayoría de los libros de texto del nivel bachillerato, e inclusive en algunos libros especializados, donde cada organelo celular se muestra con una estructura y función particular, al margen de los demás; como si entre ellos no existiera conexión física o ningún tipo de interacción de algún tipo en los procesos celulares, esto puede observarse en los textos de Biología desde los años setenta hasta los noventa. Sin embargo los textos del año 2000 al tiempo actual, tienen una tendencia distinta, generalmente incluyen CD con algún material educativo de animación o video.

Por otra parte, en los libros de texto para bachillerato es frecuente el uso de esquemas que parecen caricaturas de los organelos celulares, donde para mostrar la estructura o apariencia de los mismos, no existe relación con su escala, ni con la proporción de guarda cada uno de ellos con respecto a la célula. Cuando sería ideal emplear micrografías electrónicas que son la manera convencional que utilizan los biólogos para observarlos o estudiarlos. Tal vez una posibilidad sería combinar esquemas con micrografías ópticas o electrónicas. Porque en la facultad les van a requerir cierta destreza en el manejo y reconocimiento de imágenes de organelos celulares.

Asimismo, se comentó previamente que la elaboración de un mapa mental ofrece distintas bondades, por ejemplo en una sola hoja es posible ver plasmada una cantidad importante de información, de manera resumida y creativa, con el sello personal de quien lo elabora. Los mapas mentales son creativos en el sentido de que cada persona tiene la oportunidad de emplear sus propias imágenes, códigos,

símbolos o palabras para representar información, ello facilitará su recuperación o interconexión.

Además, existe la posibilidad de actualizarlos continuamente, para generar conocimiento e inclusive emplearlo como estrategia de repaso para un examen, porque apoyan una visión más integradora del fenómeno de estudio. Se aprecia en la figuras 5.1 y 5.2 que pueden ser empleados papel bond, plumones o colores y recortes de micrografías electrónicas de los organelos celulares. O como se discutirá en el siguiente capítulo el uso de programas que apoyen su construcción.

Quiero comentar que algo que atrajo mi atención fue que por razones de voluntad, empatía u otras de índole personal, de los cuatro grupos a los que se les mostró la técnica, mediante el ejercicio de “la felicidad”, que a partir de la lectura de un artículo de divulgación (del cual aparecen algunos ejemplos en el capítulo tres de esta tesis), elaboraron un mapa mental, dos grupos decidieron no hacerlo y curiosamente los otros dos realizaron la tarea con entusiasmo, interés, motivación y creatividad. Esta división se dio de manera natural probablemente por las características de cada uno, o bien por el momento escolar que estaban viviendo (por ejemplo, encontrarse en periodo de exámenes).

Luego sucedió lo siguiente: los dos grupos que en su mayoría no realizaron el mapa, no pudieron establecer las conexiones entre los conceptos, por lo que al solicitarles en el examen, la conexión física entre organelos, o la conexión funcional, tuvieron calificaciones bajas y algunos reprobaron, con excepción de los estudiantes que dentro de cada grupo, normalmente están comprometidos con sus materias, y que probablemente se aprendieron todo de memoria, sin la posibilidad de establecer relaciones entre la estructura y la función de los distintos organelos celulares.

Por otro lado, los otros dos grupos que realizaron el mapa, con las diferencias propias del proceso de aprendizaje de cada uno, pudieron relacionar mejor los conceptos y establecer las conexiones pertinentes entre los diferentes organelos que

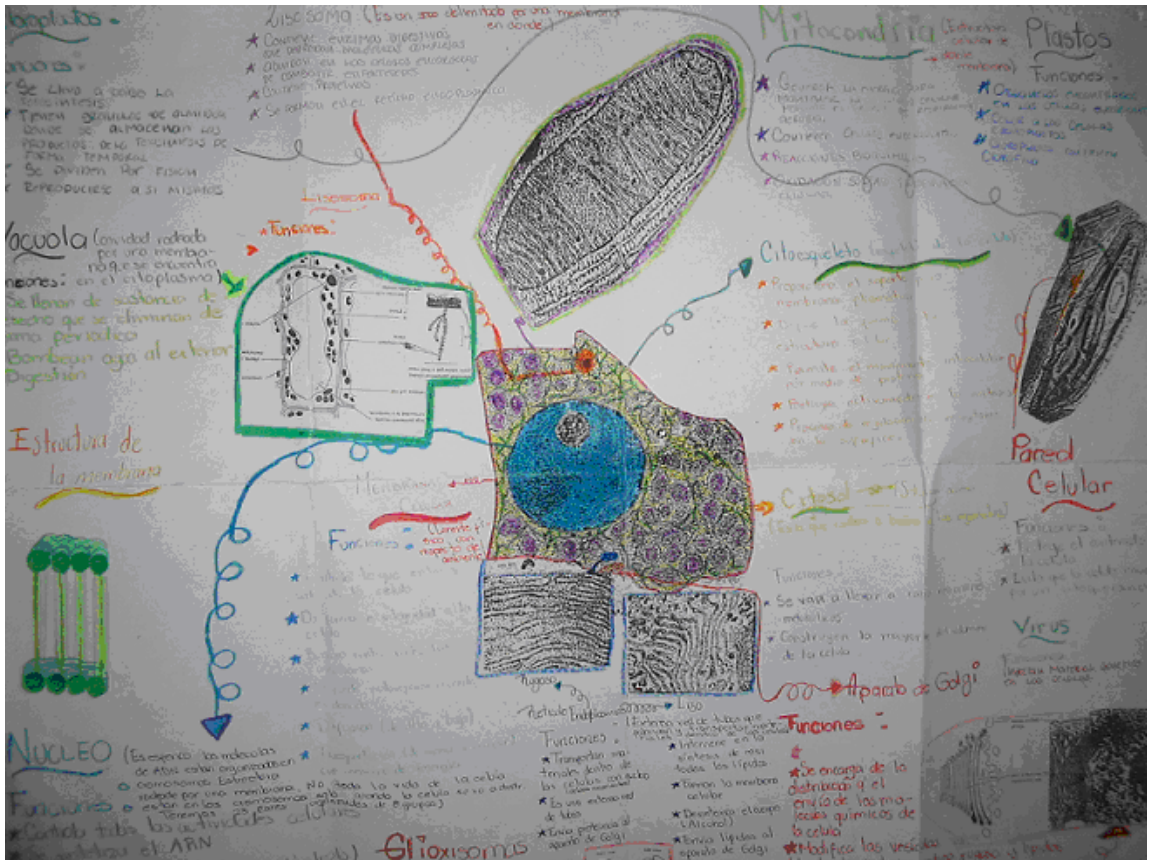


Figura 5.1 Mapa mental de la célula de un estudiante de 5º año de preparatoria. Es notable el uso de líneas, flechas, asteriscos, entre otros códigos usados por los estudiantes.

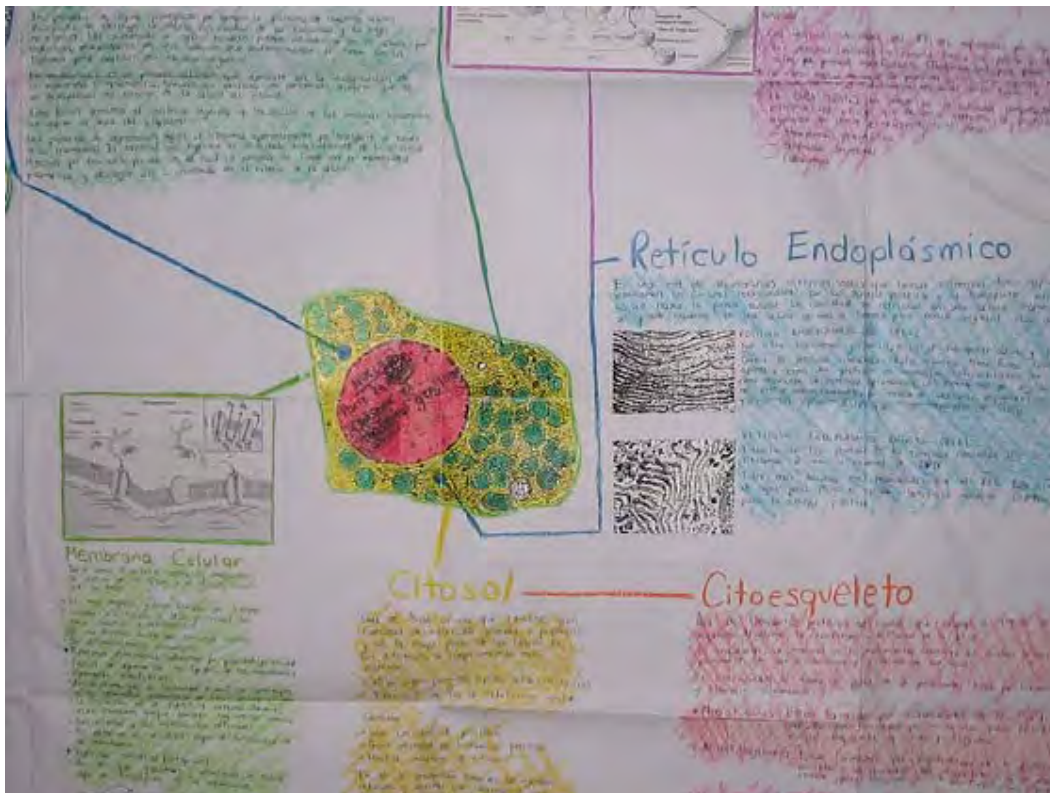


Figura 5.2 Mapa mental del tema de estructura celular, donde además de los códigos, se aprecian los recortes de las micrografías y las descripciones de algunos organelos subcelulares.

les fueron solicitados, por lo que obtuvieron buenas calificaciones, casi nadie reprobó, e inclusive como se verá en párrafos posteriores, tuvieron a nivel grupal mejor promedio con respecto al examen anterior (de biomoléculas), en donde no

fueron utilizadas estas representaciones gráficas. Algo interesante de mencionar es que el examen fue el mismo para los cuatro grupos.

5.2 Resultados

5.2.1 Análisis gráfico

Se puede ver la diferencia en puntajes en las gráficas de diagrama de barras, entre los estudiantes del grupo 501 (Figura 5.3 a) que no usaron mapas mentales y los del grupo 526 (Figura 5.3 b) que sí los emplearon. Así, en la gráfica de curvas se comparan los puntajes del 502 (figura 5.2 c) que no usó mapas mentales, con relación a los del grupo 526, que sí los empleó, ambos son muy diferentes.

Puede decirse que para los grupos 501 y 502 (que no usaron los mapas), los resultados del examen de biomoléculas y célula no son muy distintos, mientras que para el 526, los resultados de ambos exámenes fueron diferentes.

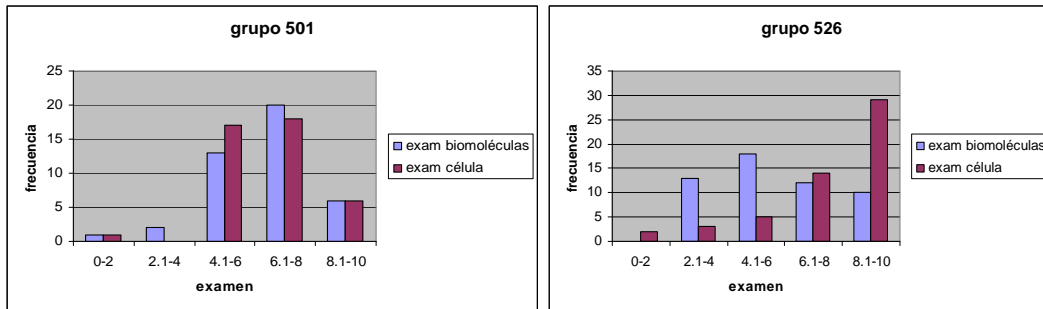
Dicho de otra manera, en el análisis gráfico es evidente que en el diagrama de barras para los grupos 501 y 502, ambos exámenes están cercanos en resultados. En la gráfica realizada mediante una curva, ambas líneas casi se tocan. Sin embargo para el grupo 526 las barras del histograma y las líneas de la gráfica, muestran diferencias entre ambos exámenes.

La última gráfica de la figura 5.3 representa el comportamiento entre los cuatro grupos, comparando ambos exámenes. Nuevamente el grupo 501 y el 502 están muy cercanos en las curvas, mientras que el 526 y el 534 están más alejados.

Posteriormente se realizaron pruebas estadísticas muy sencillas reflejadas en la tabla no. 4. Como se observa en dicha tabla, los grupos que **decidieron no utilizar** los mapas mentales como estrategia de organización y recuerdo de información fueron el **501** y **502**. Mientras los grupos 526 y 534, emprendieron con entusiasmo la construcción de mapas mentales.

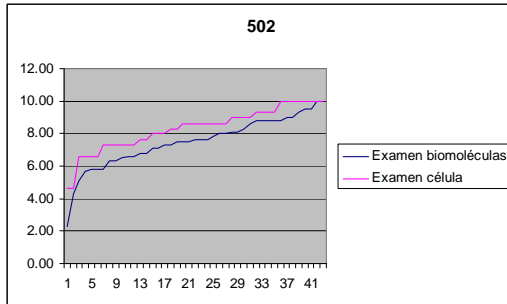
Cabe mencionar que, además de indicar el tamaño de cada uno de los grupos, se calcularon: el promedio, la mediana, la moda y el error estándar para cada uno de ellos. Si observamos de primera intención la tabla, pareciera que no hubiera diferencias entre los cuatro grupos, sin embargo, si sumamos al promedio el error estándar, las diferencias son más evidentes dentro y entre los grupos analizados. Por ejemplo: el grupo 526 o el 534 en su primer examen, donde no emplearon los mapas mentales como herramienta de estudio, o de organización de la información, sus promedios estuvieron alrededor de 6.22 y 6.81, respectivamente; si le sumamos a ambos el error estándar, es evidente que los valores se incrementan a 6.24 y 7.02 para cada uno.

Comparando estos valores con el segundo examen, donde emplearon los mapas mentales, los promedios estuvieron cercanos a 7.91 y 7.18, pero al sumar el error, estos se elevan a 8.24 y 7.49, respectivamente.

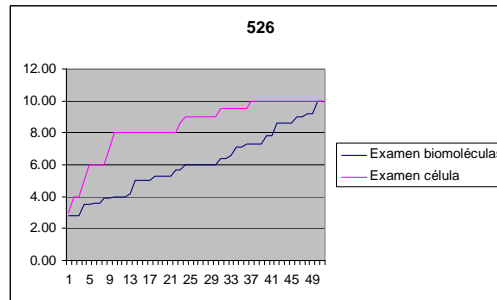


a)

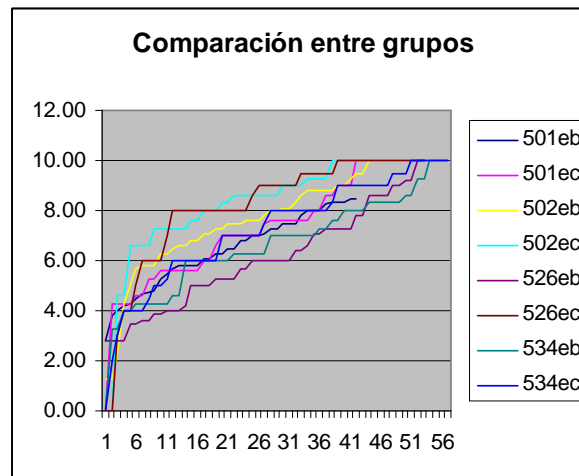
b)



c)



d)



e)

Figura 5.3 Comparación gráfica de exámenes entre grupos. En las gráficas superiores las barras azules (más claras) representan los resultados del examen de biomoléculas, mientras que las magenta (más oscuras) corresponden al examen de célula. En las gráficas inferiores. La curva azul marino representa al examen de biomoléculas, mientras que la rosa al examen de célula. La última gráfica muestra la comparación por grupos para ambos exámenes. eb representa los puntajes del examen de biomoléculas, mientras que ec los puntajes del examen de célula. Gráficas realizadas con el programa Excell©.

Tabla 4 Comparación entre cuatro grupos que utilizaron o no los mapas mentales. X representa el promedio, Med la mediana, EE el error estándar. Ex1 es el examen de biomoléculas, Ex2 corresponde al examen de célula.

Gpo	n=	X Ex.1	EE	X Ex.2	EE	Med 1	Med 2	Moda 1	Moda 2
501	42	6	0.24	7.13	0.34	7	7	8	7
502	45	9	0.13	8.24	0.48	9	9	10	10
526	53	6.22	0.26	7.91	0.33	6	8	6	10
534	57	6.81	0.21	7.18	0.29	7	8	6	8

5.2.2 Análisis Estadístico

Para saber si las diferencias obtenidas por esta tabla eran significativas se procedió a realizar un análisis estadístico más formal. Como puede verse en la tabla previa, todos los grupos son mixtos, más o menos con el mismo número de alumnos, los estudiantes pertenecen a la ENP No. 5 y les fue enseñada la técnica de mapas mentales; pero dos grupos decidieron utilizarlo para su examen y dos no. Cabe mencionar que los grupos 534 y 526 son un poco más numerosos.

Los resultados de la prueba que se muestran en las tablas 5, 6 y 7, indican que utilizando la Prueba de U Mann Whitney:

- En los grupos que tuvieron pretest y postest **sin mapas mentales** el valor de U fue de 287.2, y el nivel de significancia fue de $p < 0.37$, por lo que **no hay diferencias significativas**.
- Mientras que los grupos de pretest y postest **con mapas mentales** el valor de $U = 324.5$ con una probabilidad de $p < 0.000$ por lo que si **hay diferencias significativas**.

Al comparar los grupos de postest con y sin mapas mentales encontramos que la $U = 363.9$, y la probabilidad de $p < 0.03$, por lo que hay diferencias entre ambos, aunque son menores a

- $p < 0.5$, por tanto las diferencias no son tan significativas como dentro de los grupos de pretest y postest con mapas mentales.

Para evaluar la firmeza de los resultados se contrastó con la Prueba paramétrica de t de Student, que puede verse en las tablas 8, 9 y 10 de este apartado. Del análisis puede decirse que:

- Del pretest **sin mapas** con su postest correspondiente, se observa que el valor de $t = -2.158$, y la $p < 0.032$, **no hay diferencias significativas** entre ambas muestras, estos datos coinciden con lo encontrado por la prueba de U.

- Los grupos de pretest y posttest **con mapas mentales** generan un valor de $U = 5.55$, y la $p < 0.000$, por lo que **hay diferencias significativas**, entre ambos, que serían explicadas por la técnica de los mapas mentales y coincide con la prueba de U.
- Los **postest con y sin mapas** mentales obtuvieron un $t = 0.478$, con una $p < 0.1$. Es decir como es mayor de 0.05, por lo que aparentemente **no hay diferencias significativas**, valor similar al obtenido por la prueba de U.

En resumen: utilizando ambas pruebas estadísticas (la prueba de U y la prueba de t) el pretest y posttest sin mapas mentales no obtuvo diferencias significativas, mientras que el pretest y posttest con mapas mentales fue altamente significativo con lo que se corrobora la hipótesis. Por último los dos postest con y sin mapas mentales no fueron significativamente diferentes, esto pudo suceder porque uno de los grupos sin mapas mentales buscó información interesante para su presentación y esto pudo afectar la comparación entre grupos. Pero habrá la necesidad de continuar estudiando el efecto de los mapas mentales en el aprendizaje de un contenido.

Tabla No. 5. Comparación entre pre test y post test **sin el uso de los mapas mentales**. Aplicando la prueba no paramétrica de U Mann Whitney, el nivel de significación es por debajo del esperado, $p > 0.01$ o $p > 0.05$, por lo que **no hay diferencia significativa** entre el pretest y el post test, es decir entre el examen de biomoléculas y el de célula. Programa utilizado SPSS©.

Mann-Whitney Test

Ranks

grupos		N	Mean Rank	Sum of Ranks
puntuación	pretest sin estrategia	84	76.69	6442.00
	post sin estrategia	84	92.31	7754.00
	Total	168		

Test Statistics(a)

	puntuación
Mann-Whitney U	2872.000
Wilcoxon W	6442.000
Z	-2.083
Asymp. Sig. (2-tailed)	.037

a Grouping Variable: grupos

NPAR TESTS

/M-W= puntuación BY grupos(3 4)
/MISSING ANALYSIS.

Tabla No. 6. Comparación entre pre test y post test **con el uso de los mapas mentales**. Con la prueba de U Mann Whitney, el nivel de significancia es muy alto y se ajusta perfectamente a las probabilidades esperadas, $p > 0.01$ o $p > 0.05$, por lo que **hay diferencia significativa** entre el pretest y el post test, es decir entre el examen de biomoléculas y el de célula. Programa usado SPSS©

Mann-Whitney Test

Ranks

grupos		N	Mean Rank	Sum of Ranks
puntuación	pretest con estrategia	106	84.12	8916.50
	postest con estrategia	106	128.88	13661.50
	Total	212		

Test Statistics(a)

	puntuación
Mann-Whitney U	3245.500
Wilcoxon W	8916.500
Z	-5.333
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

a Grouping Variable: grupos

NPAR TESTS

```
/M-W= puntuación BY grupos(2 4)
/MISSING ANALYSIS.
```

Tabla No. 7. Comparación entre ambos post test con y sin el uso de los mapas mentales. Mediante la prueba de U Mann Whitney, el nivel de significancia es bajo por lo que no se ajusta a las probabilidades esperadas, $p > 0.01$ o $p > 0.05$, por lo que **no hay diferencia significativa entre ambos**, aparentemente no hubo diferencias entre ambos con relación al examen de célula. Realizada con SPSS©

Mann-Whitney Test

Ranks

grupos		N	Mean Rank	Sum of Ranks
puntuación	post sin estrategia	84	85.82	7209.00
	postest con estrategia	106	103.17	10936.00
	Total	190		

Test Statistics(a)

	puntuación
Mann-Whitney U	3639.000
Wilcoxon W	7209.000
Z	-2.171
Asymp. Sig. (2-tailed)	.030

a Grouping Variable: grupos

Tabla No. 8 Comparación entre el pretest y postest sin estrategia mediante la prueba de t de Student. El nivel de significancia es diferente del esperado, por lo que puede decirse que **no hay diferencias significativas** entre el pre y el post test en grupos que **no usaron los mapas mentales**. Programa utilizado SPSS©.

```
T-TEST
  GROUPS = grupos(1 2)
  /MISSING = ANALYSIS
  /VARIABLES = puntuación
  /CRITERIA = CI(.95) .
[DataSet0]
```

Group Statistics

grupos		N	Media	Desviación std	Error Std. media
puntuación	pretest sin estrategia	84	6.9879	1.58396	.17282
	post sin estrategia	84	7.5226	1.62706	.17753

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t		Sig. (2-tailed)		Error Std. Diferencia		95% Intervalo de confianza de Diferencia	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
puntuación	Equal variances assumed	.121	.728	-2.158	166	.032	-.53476	.24776	-1.02392	-.04560	
	Equal variances not assumed			-2.158	165.880	.032	-.53476	.24776	-1.02393	-.04560	

Tabla no. 9 Comparación entre grupos que **usaron mapas mentales**, entre su pre test y su post test utilizando la prueba de t de Student. Obsérvese que **hay diferencias significativas** que podrían ser explicadas por el uso de los mapas mentales. Programa usado SPSS©

```
T-TEST
  GROUPS = grupos(3 4)
  /MISSING = ANALYSIS
  /VARIABLES = puntuación
  /CRITERIA = CI(.95) .
```

[DataSet0]

Group Statistics

grupos		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
puntuación	pretest con estrategia	106	6.4425	1.91704	.18620
	postest con estrategia	106	7.9123	1.93384	.18783

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
puntuación	Equal variances assumed	.173	.678	-5.557	210	.000	-1.46981	.26448	-1.99119	-.94843
	Equal variances not assumed			-5.557	209.984	.000	-1.46981	.26448	-1.99119	-.94843

Tabla 10 Comparación entre **post test con y sin mapas** mentales. Usando la prueba de t de student, **no hay diferencias significativas** entre ambos. Programa usado SPSS©

```
T-TEST
  GROUPS = grupos(2 4)
  /MISSING = ANALYSIS
  /VARIABLES = puntuación
  /CRITERIA = CI(.95) .
[DataSet0]
```

Group Statistics

grupos		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
puntuación	post sin estrategia	84	7.5226	1.62706	.17753
	postest con estrategia	106	7.9123	1.93384	.18783

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean difference	Std. Error difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower
puntuación	Equal variances assumed	1.747	.188	-1.478	188	.141	-.38965	.26365	.90973	-.13044
	Equal variances not assumed			-1.508	187.301	.133	-.38965	.25845	.89949	-.12020

5.2.3 Análisis no estadístico o cualitativo

Por otro lado, hay que recordar que en el capítulo uno se planteó que este trabajo emplea un enfoque mixto, que se combinan atributos de métodos cuantitativos y cualitativos. Los párrafos previos correspondieron a los resultados obtenidos por la metodología cuantitativa. Los siguientes son parte de una metodología cualitativa, que aporta nuevos aspectos igualmente interesantes.

Un poco al margen de los números, los siguientes mapas mentales son algunos ejemplos donde los estudiantes muestran su creatividad y las diferencias propias de su comprensión del tema por cada grupo de alumnos. En algunos de ellos es notoria la necesidad de trabajar más ya sea con la técnica de los mapas mentales, o de acercarse más al contenido analizado, porque tal vez falta más lectura, más tiempo o una mejor articulación de los conceptos en la mente de los estudiantes.

Como puede verse en los cuatro mapas mentales tomados a manera de ejemplo, los materiales utilizados por los estudiantes son los mismos, sin embargo, mostraré una progresión en la comprensión del número uno al último (del menos elaborado al más elaborado).

Obsérvese que en el mapa número uno, de la figura 5.4 hay varias situaciones a comentar. La disposición de la hoja empleada por los alumnos para trabajar es vertical, cuando la sugerida por la técnica de mapas mentales es horizontal y la razón es para optimar el espacio. Como los estudiantes extraviaron la imagen central que corresponde a una célula hepática humana, parecida a la que ellos observaron en el microscopio, la sustituyeron por la imagen de una célula vegetal y animal, que tomaron como imagen central, sin establecer ninguna diferencia entre ambas. Es necesario resaltar que la micrografía de forma cilíndrica que se observa en la parte superior derecha de la hoja, corresponde a una bacteria, no a una mitocondria, aún cuando puede parecerse un poco en la forma y el tamaño, la bacteria mostrada carece de crestas mitocondriales propias de una mitocondria. Y aún cuando indican que se trata de una bacteria la ponen cercana a otros organelos celulares, esto implicaría la no diferenciación entre células procariontes y eucariontes.

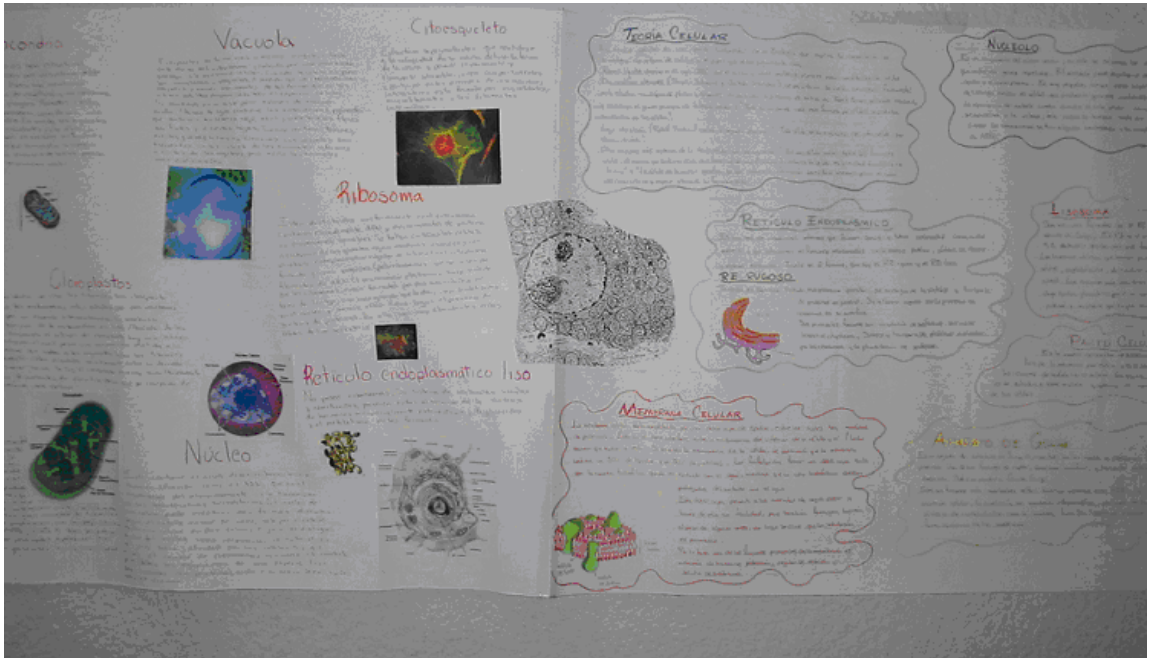


Figura 5.5 Mapa Mental 2 “Monográfico”; no hay conexiones entre la célula central y los organelos y a pesar de que tampoco se aprecian códigos o símbolos, rescata la teoría celular, la cual se aprecia en la parte superior del mapa.

Es importante mencionar que el mapa no cuenta con ramas, ni líneas, en general carece de otros códigos como flechas; por lo que aparece sin ninguna relación entre los organelos subcelulares, por ello aparecen dispersos en la hoja, sin conexión aparente de éstos con las células que mostraron como centrales. Tampoco se observa proporción entre ellos; por ejemplo las células vegetal y animal se observan mucho más pequeñas que la bacteria. O el flagelo se observa más grande que ambas células. Aunque lo rescatable es que pusieron la información más importante de cada uno de los organelos que seleccionaron (aún de un organismo unicelular como la bacteria que confundieron con una mitocondria).

En el mapa mental no. 2 que aparece en la figura 5.5 los estudiantes respetaron la disposición horizontal de la hoja, identificaron los organelos celulares e hicieron por escrito la descripción de cada uno. En la parte superior, es importante señalar la presencia de los postulados de la teoría celular. Emplearon colores en su elaboración y algunas micrografías de algunos organelos fueron a color (aspecto fundamental en la estimulación de la corteza cerebral). Sin embargo, no se estableció ningún tipo de conexión física de los organelos subcelulares con la célula hepática central o viceversa, ya sea mediante flechas o códigos para ubicarlos espacialmente, no hubo algún tipo de conexión entre los distintos organelos subcelulares. Por ello, el mapa tomó la apariencia de una monografía, porque los alumnos no emplean ningún tipo de código o flechas.

En cambio, el mapa mental no. 3 de la figura 5.6 además de la disposición horizontal de la hoja, el reconocimiento de casi todos los organelos subcelulares, con sus respectivas descripciones, el uso de códigos y colores, tiene como principal virtud, que se establecen conexiones de cada uno de los organelos con la imagen central de la micrografía electrónica de la célula hepática por lo que hay una buena ubicación espacial de ellos en la micrografía electrónica, por ejemplo se conecta el citosol con el citoesqueleto y el aparato de Golgi con el retículo endoplásmico.

Dos cosas que se podrían mejorar en el mapa No. 3 son que la imagen que se usó para representar al cloroplasto es una mitocondria, sólo que a una escala menor; si se sustituyera por la imagen del primero, debería llevar una indicación de que es privativo de las células vegetales, y en la imagen parece un poco como parte del

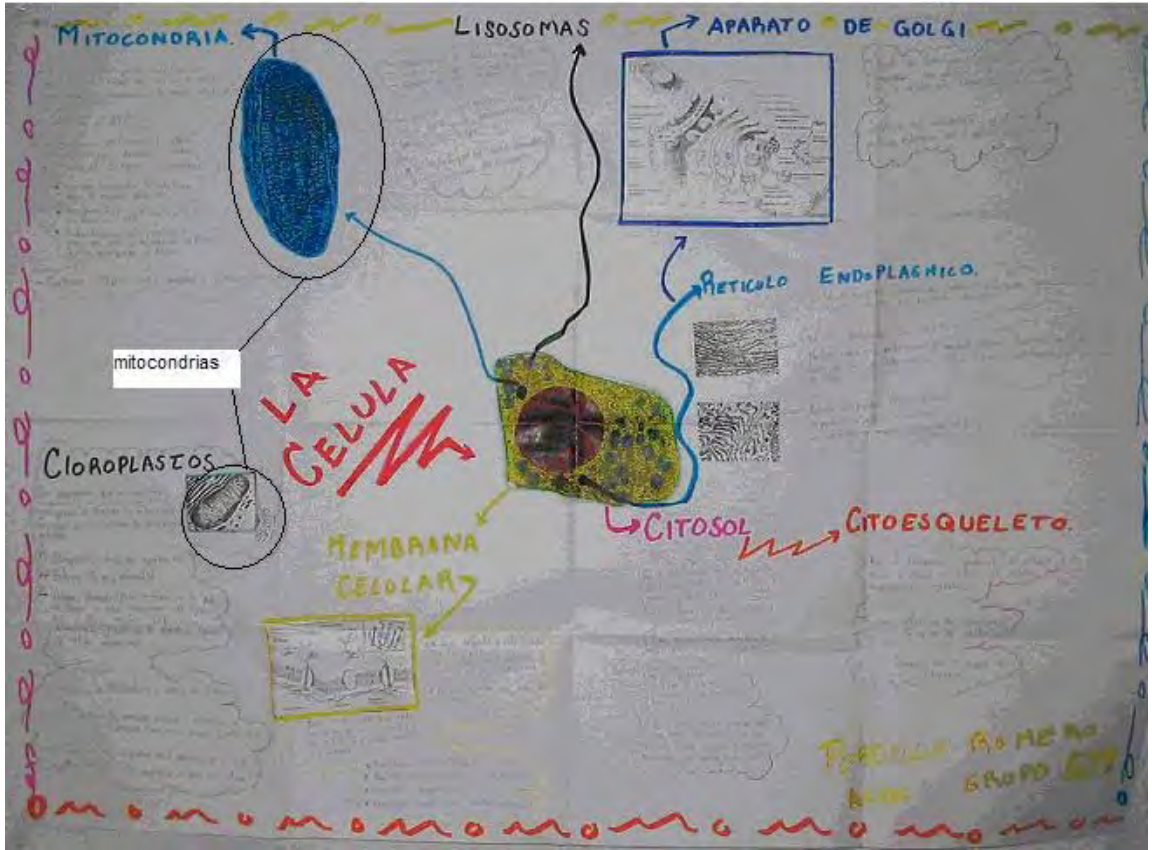


Figura 5.6 Mapa Mental 3. Son notorias las conexiones de la célula hepática central con los diferentes organelos, así como entre ellos. Obsérvese la presencia de dos mitocondrias de distinta escala, donde una se toma equivocadamente por un cloroplasto.

todo, cuando una célula hepática no tiene cloroplastos, por pertenecer al pertenecer al órgano de un animal.

El que se puede considerar como el mejor mapa de todos los que se muestran es el mapa no. 4 que se observa en la figura 5.7, por diversas razones que a continuación se enuncian: fue cuidadosamente elaborado, la manera de mostrarlo es más creativa, se observa la conexión entre la célula hepática y sus organelos, así como entre éstos últimos. No solamente se muestra la estructura celular, sino algunos aspectos funcionales de la misma. El mapa contiene códigos y flechas, también se elaboró con otros materiales adicionales. Sumamente importante la inclusión de dibujos realizados por los mismos estudiantes para tratar de entender las distintas partes.

A manera de comparación, la figura 5.8 muestra dos fragmentos de un mapa mental maestro realizado por un grupo de estudiantes del 6º año de preparatoria para el tema de comunicación celular. Es indispensable reconocer que ellos debían de comprender previamente el contexto social de las células, para luego entender la manera en que se efectúan los procesos de comunicación extracelular. Por ello realizaron las lecturas correspondientes a estructuras que se encuentran en el exterior celular como: fluido extracelular, matriz extracelular, hormonas, neurotransmisores, entre otros (contexto social).

Solamente que a diferencia de sus compañeros de 5º año que presentaron ante el grupo su información, de manera verbal, los estudiantes de 6º año redactaron un texto del organelo que se les asignó, de manera parecida a una pequeña publicación, en la que usaron un pseudónimo y fue sujeta a la evaluación por otros dos equipos. Con la información revisada por otros compañeros y por su profesor, elaboraron su mapa mental.

Naturalmente que al tratarse de un proceso biológico, el nivel de abstracción requerido por el estudiante, es mucho mayor que la sola comprensión de la estructura celular. Entonces su mapa realmente parece más un mapa mental, porque son evidentes las ramas, los códigos son abundantes, las flechas e interconexiones entre los conceptos son numerosas, en general los símbolos se usan más con

relación a los mapas de estructura celular. Es interesante señalar que utilizan en mayor proporción el lenguaje científico como H_3CO_3 , o los símbolos convencionales de las reacciones químicas. Además la jerarquía de los conceptos es notoria, como lo muestran los diferentes tamaños de letra utilizados, o el énfasis para resaltar conceptos más importantes.

Es evidente que los estudiantes percibieron la complejidad de la comunicación celular, como lo demuestra la conexión entre fluido extracelular y matriz extracelular, o de la matriz extracelular y hormonas, que es visible en el mapa; porque aún cuando no se aprecia trabajaron también con hormonas, neurotransmisores, entre otros. También que pudieron relacionarlo con algunas enfermedades como la acidosis y la alcalosis metabólica (que están ligados con el pH, potencial de iones hidrógeno de la sangre).

Posterior al uso de los mapas mentales, pero previo a su examen, los estudiantes tuvieron oportunidad de observar, con ayuda de un cañón de proyección y computadora, algunas simulaciones del funcionamiento de la membrana celular y de la síntesis de proteínas que provenían del libro electrónico Molecular Cell Biology (Lodish, et al. 2008). Con lo que apreciaron el modo en que los organelos celulares están interconectados de forma dinámica en la estructura celular. Por ejemplo, como la síntesis de proteínas es a nivel del núcleo de las células, y la manera en que “maduran” a nivel de citoplasma en los ribosomas, para luego ser exportadas a diferentes organelos celulares, localizados en distintas partes de la célula. Igualmente visualizaron la manera en que la membrana celular es flexible y selecciona los materiales que provienen del exterior celular, y la forma en que estos ingresan al interior celular.

Un aspecto deseable para complementar esta parte de la propuesta didáctica dentro del proceso de aprendizaje, y que se discutirá en el siguiente capítulo es la observación de videos de células vivas, en tiempo real.

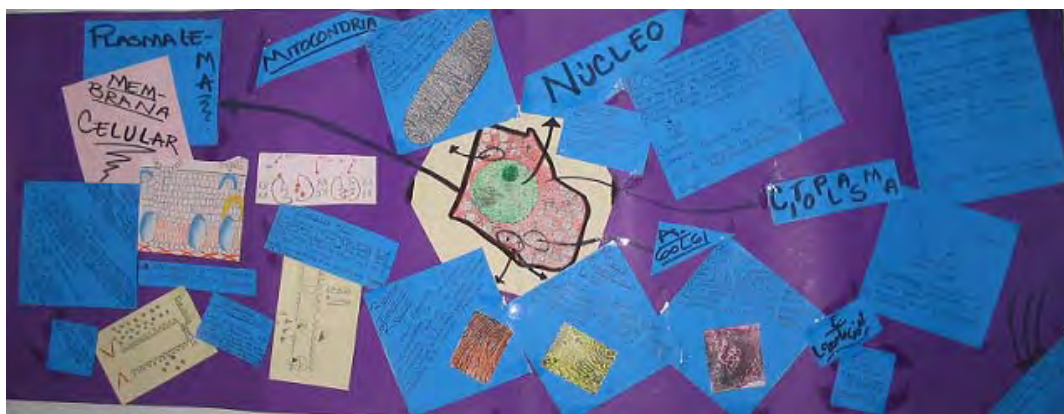
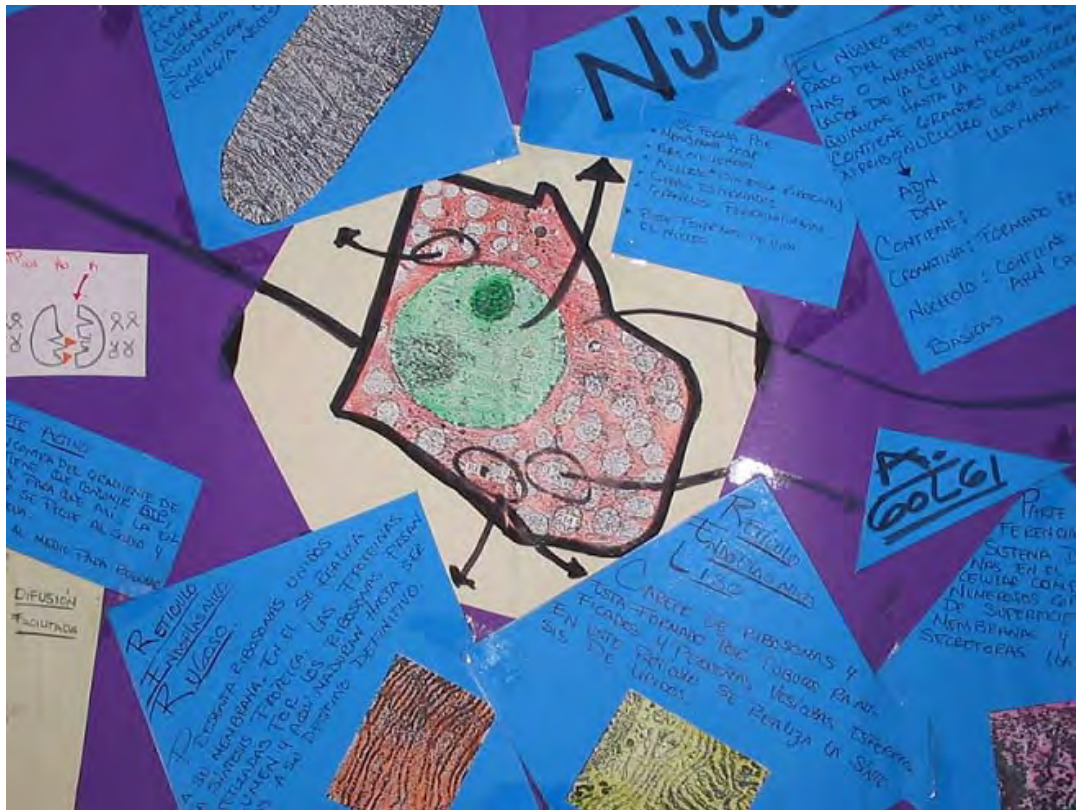


Figura 5.7 Mapa mental 4. Este mapa fue elaborado de manera cuidadosa, se seleccionaron otros materiales. Hay conexiones entre la célula hepática y sus organelos subcelulares. También se incluyen dibujos realizados por los alumnos para tratar de entender los procesos celulares.

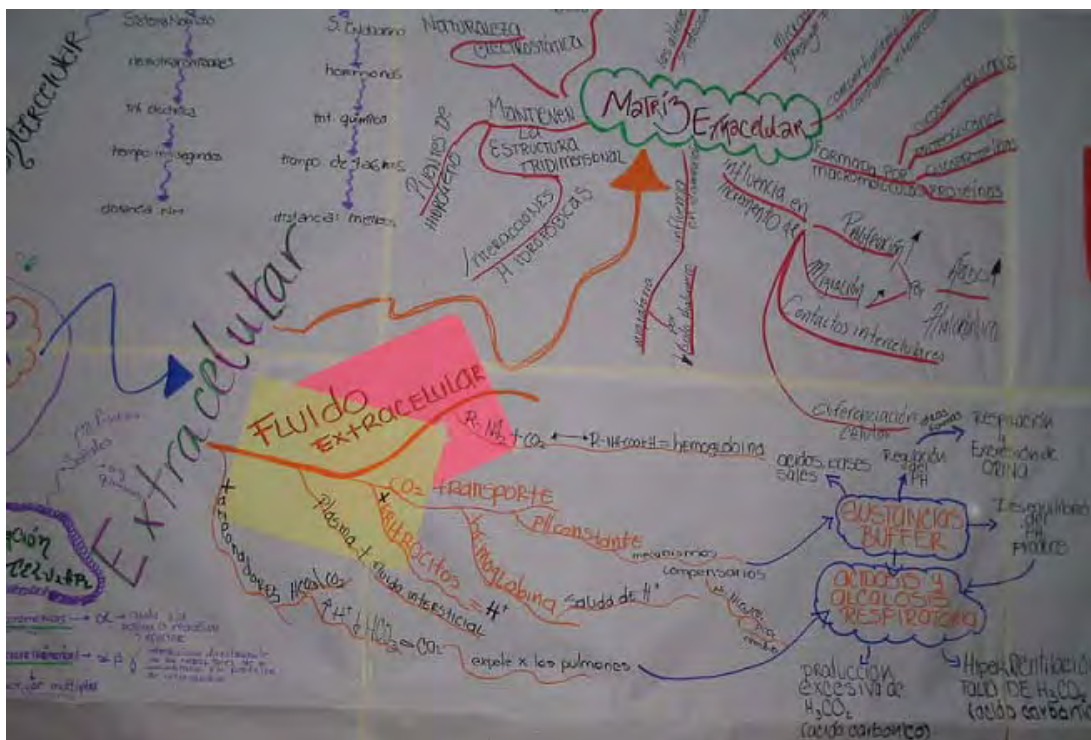


Figura 5.8 Mapa mental no. 5. Se nota un mayor uso del lenguaje científico, así como de conceptos de mayor profundidad. Es evidente también la jerarquización de conceptos, que es resaltada no solamente en el tamaño de letra, sino mediante colores o códigos. Hay una gran interconexión entre los distintos componentes del contexto social celular.

5.3 Respuesta a las preguntas de investigación

Con relación a la primera pregunta de investigación que aparece en este texto: ¿Es posible que la representación o el modelado a través de mapas mentales en papel o en computadora, ayude al interesado a apropiarse de las relaciones entre los conceptos, sobre todo en fenómenos de escalas espaciales y temporales, que le son ajenas, como los que suceden a nivel de organelos celulares?

Con base en la experiencia de esta investigación, puedo decir que todo parece indicar que efectivamente el que los alumnos desarrollen trabajo con los mapas mentales ayuda a que visualicen significativamente las conexiones entre los conceptos, en escalas espaciales ajenas a su propia percepción. Pero esto no es de ninguna manera casual, en realidad se hace posible porque existe un trabajo previo a ello por parte de los estudiantes. En primer lugar la búsqueda selectiva de información de cada organelo subcelular, su lectura minuciosa, su análisis y la presentación de la información más importante con sus compañeros, asegura la calidad de la misma. Claro que es indispensable la revisión y seguimiento del profesor, en y durante el proceso de aprendizaje.

Aunado a lo anterior, a lo largo de esta propuesta pedagógica, fue importante la observación en el microscopio fotónico de las células hepáticas humanas, además de otros tipos celulares, para que los estudiantes tuvieran el referente del tamaño de la célula con relación a la micrografía electrónica y al detalle que ésta muestra. Tomar consciencia de la manera en que una entidad tan pequeña (microscópica) ha sido ampliamente estudiada.

Así, durante la elaboración del mapa mental de la célula, lo que los estudiantes colocan ahí es la información más importante proveniente de los diferentes textos que ellos obtuvieron, la cual fue resumida y vuelta a resumir, analizada y sintetizada, y a su vez estaba apoyada por algunas de las imágenes que son las fotocopias de las micrografías electrónicas de los organelos subcelulares y de la célula hepática misma, con lo que se posibilita que entiendan la conexión espacial de los diferentes organelos subcelulares dentro de una célula. O bien ayuda a evidenciar el nivel de

comprensión del tema, y si es necesario se establece el apoyo correspondiente para las situaciones que requieren una mejor construcción por parte del estudiante.

Ahora bien, la integración de las partes dentro de un todo se logra cuando al hacer el mapa mental de la estructura celular por equipo, ellos van viendo como existe una conexión física entre cada uno de los organelos celulares, particularmente cuando ubican físicamente la fotocopia cercana a la imagen central de mapa (célula hepática) y conectan a cada organelo con ella. También es importante cuando perciben las relaciones entre organelos subcelulares, que conectan dentro de una entidad más grande que es la célula hepática. A partir de ese momento, considero que comienzan a cuestionar sus ideas previas tales como: si el núcleo de la célula es una “bolita hueca” o si las células o los lisosomas son sólo “bolsas” que contienen cosas.

El aprender a manejar el microscopio fotónico y apreciar las dimensiones celulares, se logró al realizar las observaciones de muestras de bacterias y células de otros tipos. Ello favorece en los estudiantes la intuición de los tamaños celulares con los que trabajan normalmente los biólogos. Es decir, los estudiantes se van haciendo conscientes también de la diversidad de formas y tamaños celulares, perciben además las diferencias entre células procariontes y eucariontes.

La diferenciación en tamaños, formas y tipos celulares (procariontes y eucariontes) fue complementada con la observación por microscopia fotónica de la célula hepática. Pero su comparación con las fotocopias de las micrografías electrónicas de la misma, permitió a los estudiantes, además de contrastar las dimensiones, darse cuenta del detalle de la ultraestructura de cada uno de los organelos subcelulares, de células que solamente son visibles a través del microscopio (ya sea fotónico o electrónico) lo que les ayudará posteriormente a comprender aspectos de mayor complejidad y profundidad tales como los diferentes procesos celulares.

Como se mencionó en la dimensión disciplinaria, la observación de distintos tipos celulares y el uso adecuado del microscopio, no es garantía de que por si solos sean suficientes para que los alumnos se apropien del concepto dinámico de célula. Un estudiante tendría además que observar células en tiempo real, vivas, pero con un

buen sustento teórico para dar cuenta de su importancia, de sus características y articular mejor el concepto de célula viva.

Parte del valor de esta propuesta pedagógica radica fundamentalmente en que los mapas mentales ofrecen la posibilidad, en el aprendizaje de la estructura celular, de **traducir una imagen**, es decir **pasar de símbolos verbales** (la lectura y análisis minucioso de los textos) **a símbolos visuales** (las imágenes utilizadas en sus mapas, así como sus flechas o códigos propios). Para luego **traducir del lenguaje de la imagen** (que se encuentra en sus mapas) a la **apropiación de los conceptos científicos**. Para un estudiante significa entender ¿qué es lo que está queriendo decir una imagen, una simulación o un video? Apropiarse no sólo del lenguaje técnico, sino del lenguaje visual biológico, para apoyar a la construcción del lenguaje científico, fundamental para la Biología actual.

Al respecto, un concepto interesante es el de pericia visual:

...se refiere a la identificación espontánea de ejemplares desde una categoría en un nivel subordinado más bien que al nivel de categoría genérica...han demostrado que gente quién ha adquirido pericia en la identificación de categorías específicas de objetos sin rostro, pájaros, carros - demuestran respuesta más fuertes durante la contemplación de estas categorías de las que son observada en gentes quienes no son expertas. (Gauthier et al. 1999 y 2000 en Hazxbi, Gobbini y Montgomery, en Gazzaniga, 2004: 892)

Para responder a la segunda pregunta: ¿Podría la visualización de imágenes mediante mapas mentales, en papel o computadora, servir como herramienta de análisis, organización y construcción de conocimiento en el tema de célula?

La bondad de los programas para organizar y visualizar información, que fueron anteriormente descritos, es variada. Porque por una parte permiten la construcción de representaciones visuales externas, que de alguna manera están reflejando las representaciones mentales internas y a su vez, ambos procesos están apoyando al estudiante, vía la imaginación y el lenguaje, en: la extracción, interconexión, síntesis y construcción de representaciones útiles en la adquisición del conocimiento de la estructura celular. Por la manera en que está diseñada esta propuesta pedagógica, mediante observaciones en el laboratorio, lecturas, mapas mentales, entre otros, es evidente el papel que juegan la imagen y el lenguaje en la construcción de

representaciones mentales visuales que son espaciales y que ayudan al aprendizaje de la estructura celular.

Este juego entre las representaciones externas e internas, en términos del componente visual, que ocurre mediante “dispositivos artificiales aseguran un tratamiento inteligente de la información, sobre el cual se identifican las condiciones óptimas de la interactividad con la arquitectura de los modos de funcionamiento del sistema cognitivo humano” (Denis, 2006). Quiero resaltar que las simulaciones, videos y algunos modelos dinámicos observados en la computadora, al ser virtuales recuperan la tridimensionalidad de los procesos, el movimiento y el color, con lo que además de reflejar de mejor manera los procesos o fenómenos celulares, por lo que estimulan distintas áreas de la corteza cerebral, hay mayor posibilidad de recuerdo, y coadyuvan a su almacenamiento en la memoria de largo plazo.

Por otro lado, considero que una de las ventajas de planear una progresión en el aprendizaje es que se van proporcionando a los estudiantes los puentes cognitivos para que ellos posteriormente vaya construyendo y articulando los conceptos. En este sentido, la lectura y presentación de los temas frente a los compañeros, que culmina con la elaboración del mapa por equipo o por grupo, aún cuando empieza a permitir la apropiación de conceptos, no permite establecer completamente las relaciones espaciales o temporales. Esta situación dinámica y de vida característica de la estructura celular, sólo es posible apreciarla de manera más plena, cuando los estudiantes observan las animaciones o los videos de células en tiempo real.

Puedo decir que hay dos niveles para la apropiación de las cuestiones espaciales de la estructura celular: uno tiene que ver con el manejo de la información y su organización y el segundo con su presentación dinámica. Dentro del primer nivel hay cuatro momentos, uno es la lectura minuciosa de la información sobre los organelos celulares, el segundo se refiere al trabajo que realizan los estudiantes en la síntesis de los aspectos más importantes de la literatura consultada y el tercero sucede durante la presentación de su información ante los compañeros. Pero en el cuarto es cuando verdaderamente toma sentido, ocurre cuando ellos construyen los mapas mentales con sus recortes de micrografías electrónicas. Pero un segundo momento indispensable es el que va a proveer la observación de videos o animaciones,

porque permite una visión dinámica, en movimiento, pero a la vez compleja, como interacción de partes dentro de un todo, da cuenta de un proceso.

¿Hay alguna relación entre imaginación, imagen, percepción y aprendizaje?

En el estado del arte de esta tesis expliqué, que el cerebro es un órgano altamente especializado en su estructura y función. En el cual, la información puede almacenarse o es entendida mediante distintos niveles de organización, por ejemplo: en los hemisferios cerebrales, las áreas del cerebro, las células especializadas del sistema nervioso o inclusive puede entenderse a nivel de las sustancias que participan en la comunicación de los impulsos nerviosos, como los neurotransmisores.

Recordemos que el enfoque del presente trabajo es mixto, así el tema del aprendizaje es muy interesante desde las humanidades, pero podrían trazarse algunos caminos desde la neurobiología para comprender aspectos relativos al mismo, a fin de tener una visión más amplia del proceso.

Aréchiga (2001:220) destaca el hecho de que "...se empieza a tener acceso a información sobre posibles mecanismos de interacción entre zonas cerebrales durante la elaboración consciente;" lo que nos habla de la importancia de realizar la estimulación de varias áreas de la corteza cerebral en los procesos mentales como el aprendizaje.

Este autor resalta que "el número estimado de posibles interacciones sinápticas en la corteza cerebral es muchos órdenes de magnitud mayor que el de partículas subatómicas en el Universo" (Aréchiga, 2001:221). Lo cual refleja la dificultad para estudiar el cerebro de una manera integral, dado el número infinito de posibilidades y el hecho de que en general está excedido para cualquiera de los procesos que se lleven a cabo en él.

Todavía más interesante es que Aréchiga señala que en general, los seres humanos estamos dotados de una extraordinaria morfo - fisiología, pero falta nuestra bendita voluntad, al decir que: "Nuestra percepción es un acto de voluntad, y atendemos a

ciertos estímulos sensoriales, mientras soslayamos otros”. En ese sentido volviendo a las definiciones de voluntad anteriormente citadas, esta capacidad de decidir con claridad y eficacia, de realizar una acción y ejecutarla, desde la neurobiología tendría sus raíces en la percepción y la comparación que realiza el cerebro con experiencias pasadas que se encuentran almacenadas en el mismo, pero que además movilizan a varias áreas de la corteza cerebral, incluidas aquellas que tienen que ver con el desplazamiento o el movimiento, o inclusive en capas superiores que se relacionan con procesos mentales más complejos.

El autor refiere evidencias encontradas en trabajos con gatos atentos a estímulos visuales específicos, durante los cuales se presenta una disminución en su capacidad auditiva, lo cual pienso que es como si toda la atención fuera absorbida por un estímulo. Reconoce que existen grupos de neuronas que se activan particularmente cuando el sujeto está atento a un estímulo, por lo que participan en el fenómeno mismo de la atención.

Los mapas, las simulaciones y los videos en tiempo real, por sus características de virtualidad representan la tridimensionalidad, el colorido, el movimiento, entre otros, por lo que están estimulando de muchas maneras al cerebro, con lo que se incrementa la probabilidad de captar la atención de los estudiantes.

El mismo Aréchiga (2001:221) concluye que: “El aprendizaje parece ser función de la capacidad de las neuronas para modificar sus interconexiones, sea estableciendo nuevas o reforzando las ya existentes”. Obsérvese que el autor es muy cuidadoso en expresar que todavía no existe una hipótesis completamente satisfactoria para explicar el aprendizaje.

Corolario: Desde esta mirada más holística del aprendizaje y con base en los resultados de este estudio, podemos señalar que los estudiantes están en interacción con un ambiente o entorno mediante las imágenes, los videos y las animaciones, con lo cual se estimulan distintas entradas al cerebro. Así dependiendo de la atención, el interés, las creencias, la voluntad y motivación del estudiante, podrá empezar a construir sus percepciones sobre el objeto de estudio, al contrastar la información que ingresa con la que ya tiene almacenada. Pero el proceso no

termina ahí, si el sujeto no está cansado ni aburrido, empezará a imaginar, a simular o modelar mentalmente lo que se le plantea, sobre todo si se trata de cosas abstractas, difíciles de percibir a simple vista, podrá a través de sus modelos mentales: crear, recrear, evocar y emular para acercarse al conocimiento. Porque le permitirá trabajar con los textos, plasmarlos en imagen y a partir de ello construir sus conceptos.

5.4 El valor didáctico de la imagen en los mapas mentales

Aún cuando se ha mencionado en otro lugar de ésta tesis que existe un cierto desprecio por la potencialidad de las imágenes en el aprendizaje, ¿cuál es el sentido didáctico de incluirlas en los mapas mentales?

Recordemos que algunos conceptos en Biología, particularmente los referidos a la estructura espacial o a procesos, son extraordinariamente complejos y abstractos, sin embargo, “las representaciones visuales proporcionan una forma para representar información y tienen el potencial para incrementar el aprendizaje conceptual” (Cheng, 1999 en Cook, Carter y Wiebe (2008: 240)).

Agregaría que la complejidad de los conceptos mismos no únicamente exige del estudiante un nivel mayor de abstracción, en ocasiones implica también que dichos conceptos sean imaginados de manera dinámica. Los aliados en esta circunstancia podrían ser las herramientas de visualización, que bajan la carga cognitiva del estudiante, que sería ocupada solamente por lenguaje verbal especializado, al apoyar su imaginación y favorecer la “observación” de las conexiones entre conceptos, no sólo a nivel de la pantalla de la computadora o de una impresión de la misma en papel, sino del modelado mental, es decir dichas herramientas favorecen la imaginación asistida por computadora, al permitir este doble juego entre representaciones externas e internas.

Recordemos que una vez que el estudiante tiene la base conceptual de la estructura celular, que es espacial; el dinamizar las imágenes, ya sea a través de la simulación o un video en tiempo real redundaría en que esta construcción del concepto de estructura celular sea dinámica, cambiante, compleja, pero a la vez lo interesante es

que se está pensando en algo vivo, no como se aprendía en generaciones pasadas, desarticulado, estático o hasta inerte.

Pró (2003:56) señala que la lectura de imágenes, puede ser entendida como el desarrollo de capacidades en el tratamiento de la información a observar, ordenar y clasificar, representar, retener e interpretar. Así las bondades de la imagen, pensadas desde la didáctica, y su aportación **como estrategias de aprendizaje dentro de los mapas mentales** serían variadas:

1. Estimulan la atención y propician la motivación hacia éstos temas: Para un estudiante el tener la posibilidad de expresarse mediante sus propios códigos, dibujos y colores, la actividad adquiere un toque personal, lo cual hace que se involucre. A decir de Cook, Carter y Wiebe (2008: 240), las representaciones visuales pueden atraer la atención y motivar a los estudiantes, así como mejorar la retención y facilitar los vínculos entre conocimiento nuevo y conocimiento existente.
2. Retención y recuerdo de información (mnemotecnia): El uso de imágenes, de movimiento, de colores, estimula ambos hemisferios cerebrales y activa a un mayor número de redes neuronales, con los que se incrementa la posibilidad de almacenar mayor información. Las imágenes juegan papel de activadores, por lo que a través de asociaciones puede recuperarse la información.
3. Mayor abstracción (baja carga cognitiva): Al hacer un mapa mental, una estructura conceptual o usar las herramientas de visualización referidas anteriormente, se logra articular un estructura coherente en una representación mental externa, que no requiere inmediatamente ser almacenada, y que al menos temporalmente muestra una visión holística de la conexión entre conceptos y disminuye la carga cognitiva, de tener presente todo en la mente, sobre todo antes de organizarlo. Ya una vez en orden los conceptos se promueve una mayor abstracción.
4. Manejo adecuado de la información (organización y coherencia): Al plasmar una cantidad importante de los conceptos de un contenido es posible organizarlos y

sistematizarlos, e inclusive buscar conceptos que den cuenta de un mayor número de conceptos, o sean de mayor abstracción.

5. **Articulación o desplazamiento de conceptos:** Ningún estudiante llega a nosotros sin una idea previa de lo que pretendemos mostrarle, dicha idea puede ser errónea o no. El mapa puede ayudarle a “ver” cognitivamente dónde se encuentra y detectar en qué lugar está, si cerca o lejos de las concepciones científicas.
6. **Síntesis de información e integración de conceptos:** Durante la lectura de los textos relativos al tema, hacen una cuidadosa selección de la información, que resumen, y luego vuelven a resumir, de manera que en el mapa se sintetiza una cantidad importante de información. Luego, al establecer las conexiones entre conceptos, entre artículos o entre autores, se da una integración de conceptos, en esta visión holística.
7. **Imaginería mental (generación de imágenes mentales visuales):** Los mapas mentales permiten un doble juego mediante un proceso mental donde las representaciones mentales visuales o representaciones internas, pueden ser estimuladas a partir de representaciones externas ya sea como imágenes, videos o simulaciones o los mismos mapas mentales, para entender o cambiar su conocimiento, a partir de recordar, emular, recrear fenómenos o procesos que hayan ocurrido, e inclusive predecir cosas que pueden suceder.
8. **Visualización de las imágenes mentales por computadora:** Los programas anteriormente descritos permite plasmar cuando menos una parte del pensamiento del estudiante, tal vez hasta ayudarle a hacer predicciones sobre algún comportamiento que no sea tan evidente. O repetir el fenómeno las veces que sea necesario hasta lograr comprenderlo.
9. **Apropiación de un lenguaje visual especializado:** al trabajar con micrografías electrónicas o fotónicas de células el estudiante se va familiarizando con el lenguaje de los biólogos celulares y también se va alfabetizando visualmente, por lo que luego logrará interpretar las imágenes biológicas que observe en

revistas o libros especializados. Por ejemplo distinguir una mitocondria de una bacteria (véase la figura 5.9).

10. Mayor posibilidad de comunicar a otros sus ideas por la sistematización de la información (modelado y creatividad): Un hecho evidente es, que para lograr comunicarnos con otros, antes de expresarnos tenemos que tener muy claro lo que pretendemos mostrarles, en ocasiones es necesario prever o modelar el comportamiento ante posibles respuestas, por lo que se abre la posibilidad de esgrimir argumentos. Además, mientras más creativo sea el mapa, el impacto en la audiencia será mayor. Pero la creatividad no es casual, para llegar a ella, debió haber mucho trabajo previo orientado a este propósito.

De acuerdo a lo expresado en el capítulo 2 de esta tesis, un aspecto particularmente interesante y motivo de discusión es la calidad de la imagen, la postura asumida aquí es: el esquema o la representación esquemática, muy comunes en los libros de texto, carecen de escala y de proporción entre las partes con respecto a la célula como un todo, probablemente reafirmen ideas erróneas de los conceptos, mientras que las micrografías fotónica o electrónica si guardan dicha proporción y es posible indicar la escala de ambas. Otra alternativa sería combinar los esquemas con las micrografías, a fin de ubicar espacialmente los organelos subcelulares, pero sobretodo, hacer énfasis en la escala y la proporción de ellos, con respecto a la célula.

Es necesario resaltar que la imagen por sí misma es insuficiente para ayudar al aprendizaje, debe haber trabajo sobre la lectura de conceptos, la cual puede ir acompañada o desarrollarse de una mejor manera si es simultánea al lado de la imagen, de manera que el alumno se apropie paulatinamente del lenguaje verbal pero también del icónico, lo cual es sumamente importante en el área biológica porque así es como van a encontrar la información en los artículos científicos de revistas arbitradas, o libros de texto especializados para la disciplina.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y VÍAS DE DESARROLLO

En este capítulo se describen algunas conclusiones derivadas de este trabajo de investigación. En otro apartado se plantean ciertas líneas de investigación a futuro, o al menos se expresan algunas inquietudes que quedaron pendientes en este trabajo y que podrían ser retomadas para su investigación.

6.1 A manera de conclusión:

En el aprendizaje de la estructura celular, el trabajo de laboratorio y el que realizan los profesores en el salón de clase para que sus estudiantes se apropien de un contenido, puede verse mejorado o potenciado, si se refuerza o alimenta con herramientas de organización de la información: los mapas mentales o programas de cómputo como los mencionados anteriormente, que ayuden a visualizar y organizar la información, que apoyen en la apropiación de un contenido.

Ello ofrece la posibilidad de sistematizar la información, debido a que si está mejor estructurada generalmente es más entendible y se vuelve susceptible de ser almacenada en la memoria de largo plazo. Otra ventaja es que al utilizar imágenes y otros símbolos se libera, al menos parcialmente, la carga cognitiva que genera el lenguaje verbal por lo que los estudiantes se ven motivados y pueden expresar su creatividad mediante el lenguaje visual. Porque se crean las condiciones para flexibilizar el pensamiento. Además, al elaborar los mapas e imprimirles su sello personal se promueve una identificación con el conocimiento.

Dicha estrategia es mucho mejor si se dispone de ambientes de aprendizaje ricos, por ejemplo el curso - taller que se propone aquí, donde los estudiantes puedan observar imágenes digitales, videos en tiempo real, o simulaciones que ayuden a estimular la imaginación de procesos a escalas de percepción ajenas a ellos y promover la estimulación de la imaginación asistida por computadora.

La ventaja de dichos ambientes es que favorecen la observación de procesos, o de situaciones que por los tiempos o escalas en las que ocurren serían difíciles de

observar, permiten presentar simplificaciones de realidades complejas para entenderlas o compararlas.

Todo parece indicar que los **ambientes mixtos** (*blended learning*), es decir aquellos que combinan la experiencia del aprendizaje “regular”, con ambientes virtuales, son ideales para ayudar a la construcción de conocimiento en los estudiantes de bachillerato y según la literatura, en otros niveles educativos. Básicamente porque combinan la experiencia vivencial con la virtual, por lo que son estimulados a través de distintas vías y se abre su horizonte conceptual.

En el bachillerato contamos con grupos numerosos, pero educación masificada no quiere decir de baja o mala calidad, por ello debemos potenciar el aprendizaje de los mismos vía la inteligencia colectiva, es decir donde cada uno de ellos aporte ideas, conocimiento, experiencia al aprendizaje de la colectividad. Mientras más mentes estén centradas en la actividad, mejores respuestas tendremos a algunos de los problemas, por la riqueza potencial que encierra. Es decir además de estimular las redes neuronales individuales estamos generando redes sociales que promuevan el aprendizaje de una colectividad.

Por otra parte, la detección de tendencias en los congresos internacionales nos obliga a los docentes y a los investigadores a tener posturas claras frente al uso de la tecnología, porque percibí dos posturas extremas, en las que desde luego no estoy de acuerdo y son: si nos dedicamos a tomar al pie de la letra el “diseño instruccional”, los estudiantes se convertirán en “maquiladores tecnológicos”, oprime esta tecla, sigue esta instrucción, hazlo sin cuestionar, automáticamente. O en el otro extremo hay quienes piensan que el tener lo último en tecnología y ahí dispuesta ya es sinónimo de que habrá aprendizaje, es notorio que en ambas posturas, la pedagogía está excluida; por ello es fundamental la reflexión sobre el papel de la tecnología y sobre los procesos estratégicos que queremos poner en marcha. Se pretende una tecnología humanista, que promueva un desarrollo de los estudiantes no únicamente en el plano académico sino personal.

A diferencia de las posturas anteriores, se ha visto a lo largo de la presente tesis que la tecnología puede ser una excelente aliada en la gestión del conocimiento, porque

favorece la imaginación asistida por computadora, reduce el tiempo de búsqueda, de creación, de organización de la información, entre otros, que en el pasado era más lento y complicado. Por ejemplo, las búsquedas semánticas que realizan los metabuscadores en la actualidad, eran simplemente inimaginables en el siglo anterior.

Al respecto, obsérvese la figura 6.1 que resume los aspectos más importantes considerados en la propuesta pedagógica aquí presentada. Contrasta todas las estrategias pensadas en los estudiantes para el aprendizaje de la estructura celular, como: las actividades de laboratorio, el trabajo con textos especializados, la elaboración de los mapas mentales y la observación de simulaciones por computadora; con los beneficios que se espera adquieran los estudiantes al vivir toda la propuesta, entre los que se encuentran: estimulación de varias redes neuronales, desarrollo de habilidades de: organización de información, trabajo de laboratorio, de observación y decodificación de imágenes, de flexibilización de su pensamiento y principalmente de construir juntos una inteligencia colectiva, entre otros.

Otro aspecto que sigo pensando que es fundamental es el placer experimentado por el trabajo intelectual, nuevamente la tecnología puede hacer que, a través de visualizaciones dinámicas y videos en tiempo real, experimentemos la emoción de entender y generar conocimiento de una manera grata, inclusive de cosas muy complejas o abstractas, nos aproximamos al concepto de manera amena, pero sin perder el rigor científico.

La tecnología tiene una potencialidad inaudita y puede ayudarnos significativamente ya sea en nuestro quehacer docente o de investigación. Por ello, tenemos que ser muy cuidadosos en su selección y uso. Particularmente, no debemos olvidar nuestra responsabilidad docente con los estudiantes a los que estamos formando, e indagar nuevas formas de que ellos aprendan de una manera más holística, dinámica, compleja e inclusive se deleiten en el proceso. En realidad pienso que esta búsqueda nunca termina.

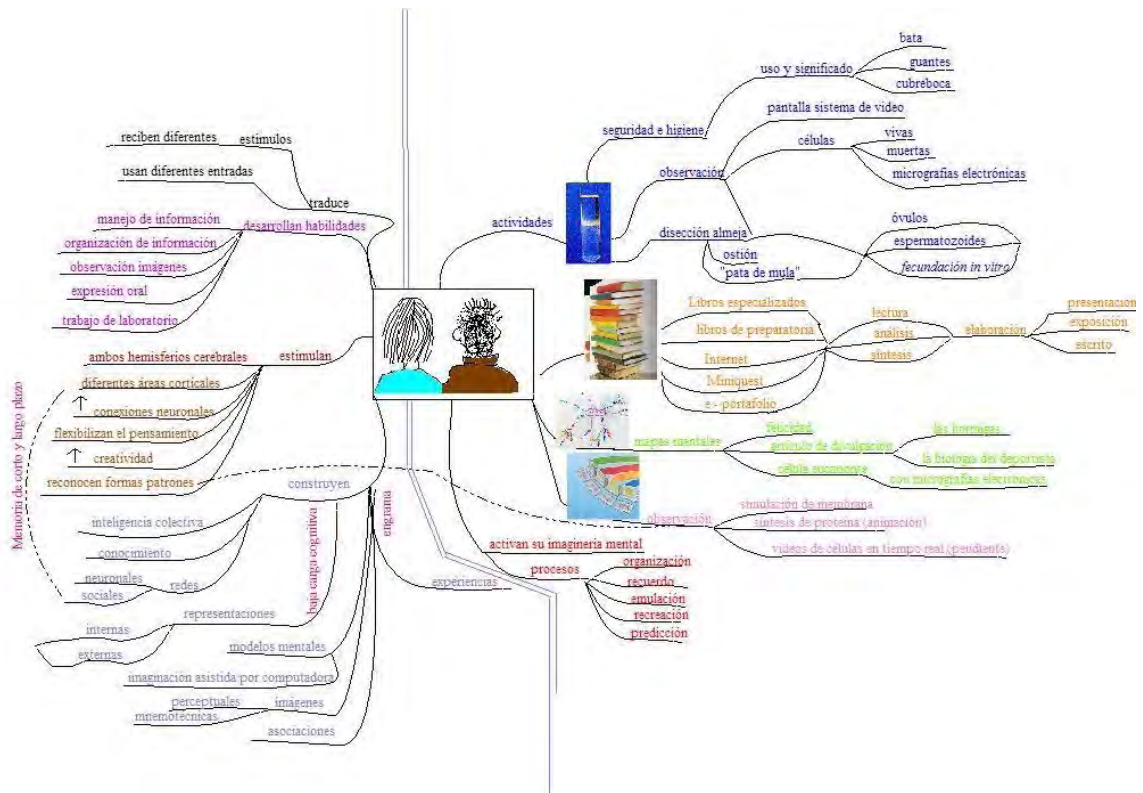


Figura 6.1 Mapa mental resumen de los aspectos fundamentales de la propuesta pedagógica. Obsérvese que una doble línea separa al mapa en dos partes. Del lado derecho aparecen todos los aspectos considerados en la presente propuesta para el abordaje de la estructura celular, por ejemplo: las actividades, los mapas o la observación de simulaciones. Mientras que del lado izquierdo se encuentran los beneficios esperados a partir del uso de los mapas, como: el desarrollo de habilidades, la estimulación de procesos de pensamiento o la imaginación asistida por computadora. Realizado con los programas Paint brush® y Eve®

6.2 Líneas futuras de investigación

Es necesario destacar que estas nuevas formas de aprender con el apoyo de la tecnología implican la búsqueda y la lectura selectiva de los textos, imágenes, animaciones y videos, entre otros disponibles en Internet, por parte del profesor o del investigador quien tendrá de su lado el criterio y la experiencia para evaluarlos, por ejemplo escoger los sitios serios, o los sitios ricos, entre otros.

El profesor requiere además del conocimiento en la disciplina, que tenga al menos nociones de aspectos pedagógicos, psicológicos, neurobiológicos y éticos, a fin de que su práctica docente no se base únicamente en sus creencias, en la intuición o su disciplina, que son buenas y se desarrollan en el tiempo, pero son insuficientes ante la complejidad del aprendizaje de cualquier contenido. Con ello se propiciará el desarrollo en sus estudiantes de las capacidades de síntesis y de abstracción de los aspectos más relevantes (Véase figura 6.2).

También, para apreciar las relaciones dinámicas entre conceptos y entender los de mayor complejidad tales como la estructura espacial de la célula, son necesarias las **herramientas computacionales para la organización gráfica del pensamiento** así como las herramientas **de visualización**, videos en tiempo real e imágenes. Por lo que es deseable que el profesor sea competente en su uso. Las habilidades citadas favorecen la articulación y organización de las ideas y los conceptos, para apropiarse al menos de la coherencia horizontal del concepto de célula. Pero posteriormente tendrían que aprender sobre la coherencia vertical, es decir la manera en que funcionan como sistemas, los órganos del cuerpo humano. Por ello, deberán generarse nuevos modos de uso más eficientes que ayuden a obtener mayor provecho de la tecnología en potenciar habilidades del pensamiento.

En el mediano plazo, será indispensable diseñar un nuevo “experimento” para analizar en profundidad como acontece el aprendizaje, con ayuda de la tecnología y sin ella. Es decir estudiar el papel que juegan las representaciones mentales vía los mapas mentales o las simulaciones en el tema de célula de forma mixta, más cualitativa y cuantitativa. El mencionado experimento considerará una prueba pretest y una postest con el mismo grupo.



Figura 6.2 El ambiente en el salón de clases durante la elaboración de un mapa mental grupal. Es importante señalar que el trabajo de un grupo de personas interesadas en su aprendizaje ahorra tiempo, esfuerzo, profundiza en el conocimiento e integra información abstracta como el tema de la comunicación celular, ésta la esencia de la Inteligencia Colectiva que propone Pierre Lévy.

En el mismo se deberán realizar videograbaciones de las sesiones y elaborar un instrumento de evaluación como un cuestionario de entrevista, a fin de tener un referente con el cual comparar los resultados. En la propuesta pedagógica es indispensable tener presentes algunas de las ideas previas que comúnmente tienen los estudiantes sobre el tema de célula y que han sido documentadas en la literatura, por ejemplo el obstáculo epistemológico que implica considerarlas como “bolsas”.

Aun cuando a lo largo del texto se dan algunas pautas de la manera de trabajar con **las imágenes en el aprendizaje de conceptos** como la estructura celular, sigo pensando que falta todavía más investigación acerca del aprendizaje a través de ellas, porque actualmente siguen jugando un papel central en biología, y desde la didáctica son prometedoras.

Por otro lado, una necesidad que se deberá atender y que detecté a lo largo de esta investigación es desarrollar una nueva metodología que apoyada en la tecnología, desde una mirada crítica y creativa, promueva **la habilidad de tomar decisiones** pero mediante una estrategia lúdica. Creo que sería importante de llevarse a cabo.

Otro aspecto fundamental es que dada la **complejidad de los conceptos** y para su mejor operatividad, algunas de las definiciones consultadas, por ejemplo la de didáctica y la de aprendizaje, son insuficientes para dar cuenta de la vastedad y riqueza de las mismas, por lo que considero que debe hacerse mayor investigación al respecto, hasta utilizar el software que se propone aquí para clarificar todas las posibles interconexiones de los conceptos involucrados.

Por otra parte, fue notable el hecho de que el lenguaje visual puede verse apoyado por el lenguaje verbal, escrito o hablado. De ahí la necesidad de revisar periódicamente, además de la propia disciplina y la didáctica, buscar nuevos conceptos que den cuenta de las relaciones entre éstos de manera más precisa para hacer un uso pertinente de los mismos; por ejemplo un concepto reciente que encontré solamente en un texto especializado de Pollard y Earnshaw (2008), es el de **contexto social de la célula**, atrajo mi atención porque en lugar de verlo sólo como tradicionalmente se aprende, el exterior celular o el espacio extracelular, cambia hasta la manera de interpretarlo. El otro concepto nuevo es el de **organelos**

subcelulares, es interesante porque todo el tiempo lo había encontrado en la literatura, aun en los libros especializados de biología celular, con el nombre de organelos celulares, aquí el prefijo sub indica que es inferior en cuanto al nivel de organización, pues se encuentra en una escala menor a la de célula. Puede verse que el nuevo concepto es mejor porque da una idea más precisa de dónde se ubican dichos organelos, mientras que el anterior puede ser un poco confuso o ambiguo.

Una idea que derivó del análisis de conceptos como: memoria, atención, percepción, etc., comentados en el capítulo dos de esta tesis es la propuesta del “**concepto mirador**”. Es decir, hay conceptos que nos permiten tránsitos entre áreas diversas. La idea de concepto mirador es parecida a la metáfora de subir a un edificio muy alto, por ejemplo la Torre Mayor o el Hotel de México y desde ahí observar todo lo que acontece en un área muy grande. De la misma manera un concepto mirador, tal como: aprendizaje, memoria o atención entre otros, nos permite “ver” la manera de interacción entre disciplinas y ser conscientes de cuál es la complejidad del concepto, de hecho nos permite transitar entre ellas al no percibirlo de manera aislada. Claro que hay conceptos muy propios de cada disciplina, que podrían localizarse en el núcleo teórico de ellas, por lo que este concepto que estamos proponiendo también podría llamarse concepto “de frontera” o concepto “articulador”. Más investigación tendría que realizarse al respecto para discriminar si dicho concepto es posible y viable o no (Véase la figura 6.3).

Otra línea importante de investigación puede derivar es sobre las **estructuras conceptuales**, porque representan **otra forma** de mapear el conocimiento, que sería útil para los profesores, porque tienen la ventaja de mayor profundidad en el conocimiento, porque requieren mayor abstracción y por ende mayor trabajo con la información. Una posibilidad sería un acercamiento inicial al problema, al tema o al contenido deseado vía los mapas mentales, después otro nivel implicaría el uso de estructuras conceptuales, como las se muestran en las figuras: 6.4 a 6.9.

Por ejemplo, la estructura conceptual de la figura 6.4 representa la ubicación espacio temporal de la célula. Parte de esa estructura está basada en el libro “Conocimientos fundamentales de Biología” de Jiménez (2006). El eje horizontal de la parte inferior de la estructura representa al tiempo, por debajo de él se enuncian algunas de las

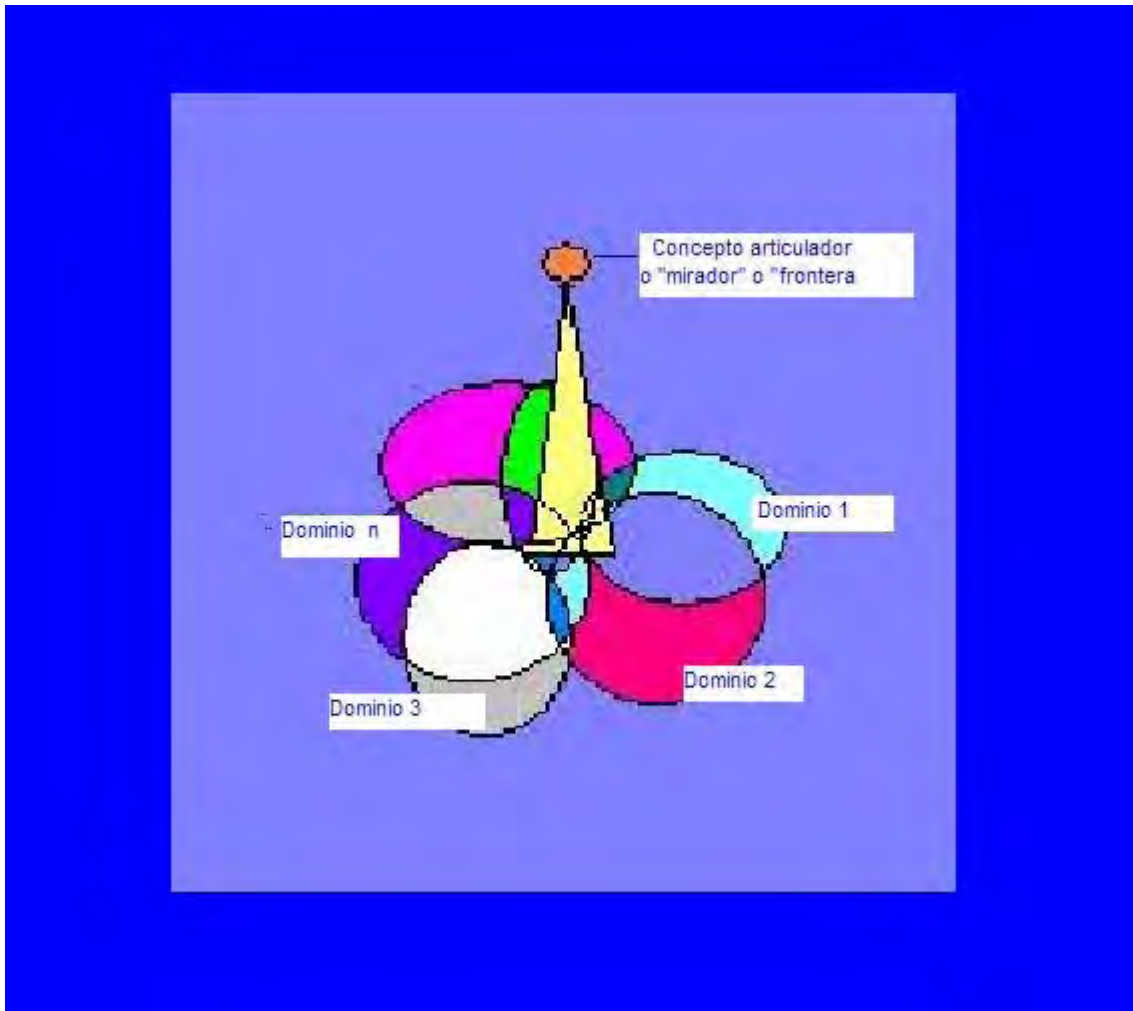


Figura 6.3 Concepto mirador, articulador o de frontera. Los dominios de conocimiento, que en este trabajo recibieron el nombre de dimensiones aparecen en colores diferentes, cada uno de ellos podría entenderse como una esfera o una nube de conceptos. Estas esferas se translapan y están en interacción constante; sin embargo el concepto mirador, nos permite asomarnos a las diferentes dimensiones y percibir su complejidad.

teorías, tecnologías y principios que dan sustento al estudio de la célula, igualmente se considera la **coherencia horizontal** de ella, es decir entender la estructura celular en sí misma. Mientras que el eje vertical representa al espacio, donde se da un incremento en la complejidad, la jerarquía y se manejan niveles de organización por encima de la célula, es decir **coherencia vertical**.

Con relación a la figura 6.5 puede verse que el concepto central es el contexto social de la célula o espacio extracelular. Este es un concepto muy reciente que anteriormente se entendía como el medio extracelular o el exterior celular, lo que queda por fuera de la membrana celular, y está referido a la forma en que las células se organizan para formar tejidos u órganos, o coherencia vertical. De color verde se resaltan las estructuras que son propias del contexto social de las células vegetales. En la parte inferior de la estructura está el nombre de la membrana celular porque es con el organelo subcelular con el que se conecta.

Así en la figura 6.6 se muestra la estructura celular de la membrana celular o plasmática, se conecta con el contexto social de la célula a través del glucocálix, que aparece en la parte superior. Se detalla particularmente la forma en que está estructurada. Lo interesante de esta estructura es que requiere mayor abstracción para entenderla porque exclusivamente se basa en conceptos, no utiliza ninguna imagen.

La figura 6.7 representa la estructura conceptual de citoplasma, obsérvese que hay una conexión física hacia los distintos organelos celulares, y están destacadas las dos regiones que lo conforman: el citosol y el citoesqueleto.

Por su parte la figura 6.8 corresponde a la estructura conceptual de una célula procarionte y la figura 6.9 a una célula tipo teórica, porque en la realidad no hay una célula tipo como tal, sino que se reconocen dos tipos celulares: las células procariontes y eucariontes.

Cabe mencionar que un ejercicio interesante sería incluir las estructuras conceptuales dentro de una herramienta de visualización dinámica, para el estudio de un cierto contenido.

Finalmente, otra posibilidad de abordar este tema de tesis, desde una perspectiva un poco distinta a la aquí expresada, pero que podría ser objeto de estudio de nueva investigación es vía la **metacognición**, un enfoque psicológico relativamente reciente que explicaré brevemente a continuación.

Pozo (2006:27) nos hace conscientes de que los sistemas educativos están cambiando y se dispone actualmente de nuevas formas de enseñar y aprender. Él propone un enfoque básicamente desde las competencias. Nos habla de “la capacidad de saber lo que sabemos, por tanto, también lo que ignoramos, así como la capacidad de compartir e intercambiar con los demás nuestras representaciones, en suma de distribuirlos socialmente” (Pozo 2006:35). De acuerdo con Soto 2002:65, específicamente la metacognición “se trata de procesos de reflexión que implican una toma de consciencia sobre los referentes epistemológicos y ontológicos propios del discurso disciplinar”. Es un proceso reflexivo en el que los sujetos se hacen conscientes de la manera en que aprenden, -cómo saben que saben-, es una capacidad para distinguir las funciones de sus facultades intelectuales, como la percepción, la memoria y la imaginación, entre otros. Que vienen del “...conocimiento y regulación de nuestras propias cogniciones y nuestros procesos mentales” (Burón 1996:10).

Los párrafos previos sugieren que quedan muchas cosas por hacer. Por ejemplo, desde la tecnología una línea de investigación interesante y prometedora es la del **uso de simulaciones y animaciones para el aprendizaje de la Biología**. O’ Day (2008) menciona que:

Existe una literatura extensiva sobre el valor de las animaciones en la enseñanza en muchas disciplinas distintas, pero son pocos los estudios en biología. Varias fuentes han mostrado que las animaciones son más efectivas que las imágenes secuenciales estáticas (Pollock et al., 2002; Nicholls & Merrell, 1996). Claramente, las cosas que son dinámicas por naturaleza deberían beneficiarse por ser representadas en una manera dinámica (Tversky & Morrison, 2002).*

Por lo que considero que la mencionada área probablemente nos reserva agradables sorpresas.

* traducción libre del inglés.

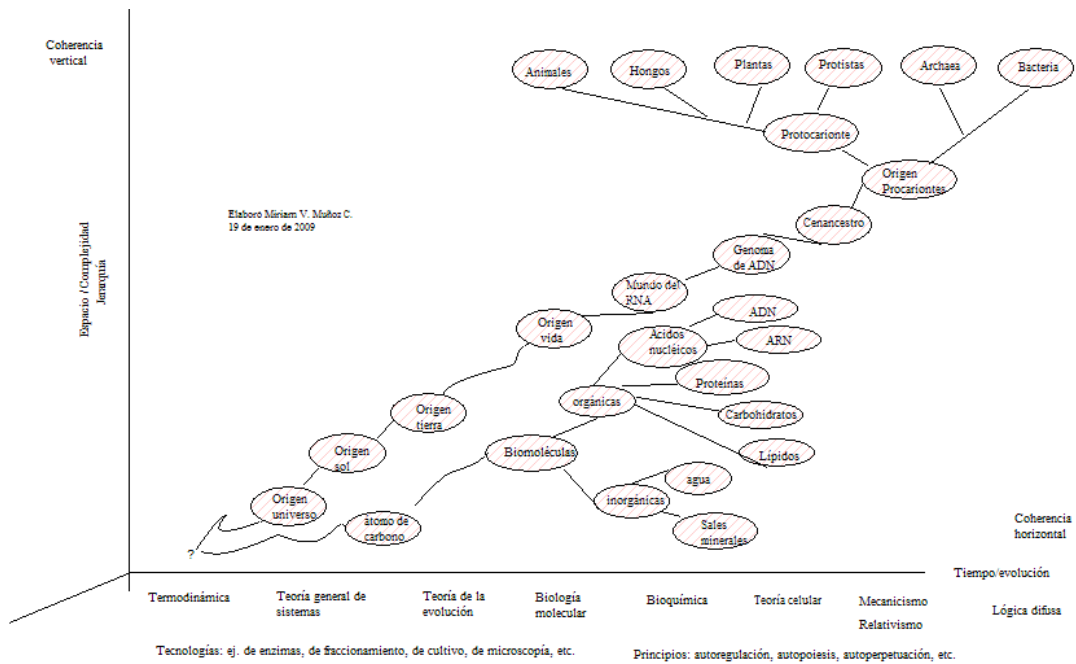


Figura 6.4 Estructura conceptual de ubicación espacio - temporal de la célula. Esta estructura refleja parte de la complejidad para el estudio de las células. En la parte inferior se aprecian algunas de las teorías que participan para darle sustento, las tecnologías más comunes para su estudio, los principios a los que obedecen, y los conceptos de coherencia vertical y horizontal. Realizada con el programa Eve©

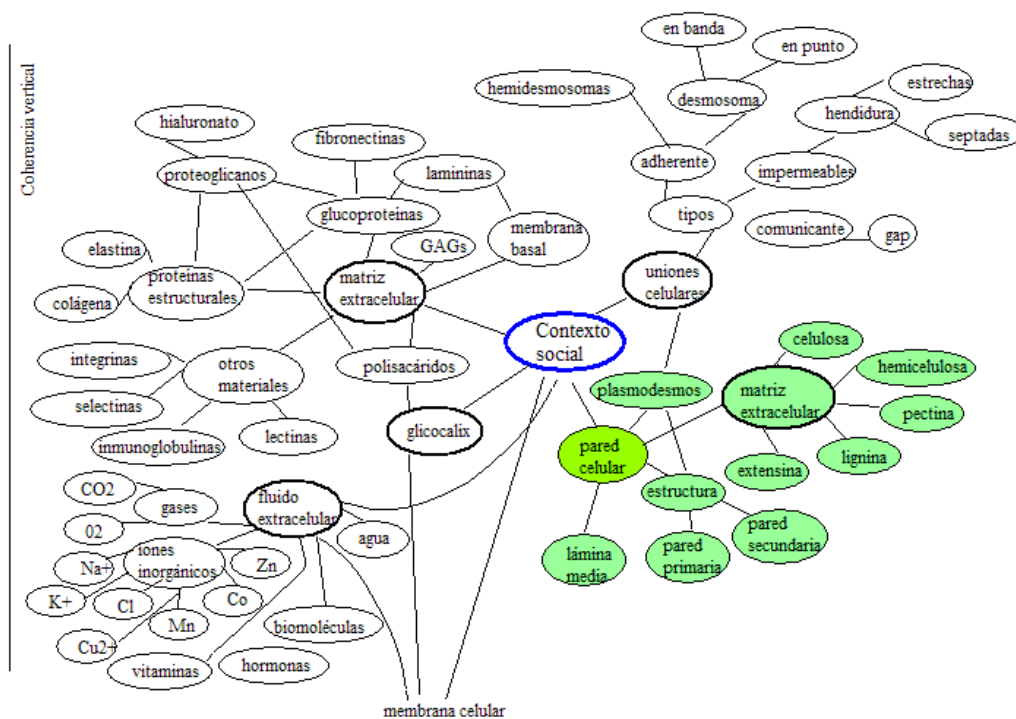


Figura 6.5 Estructura conceptual del contexto social de las células. Obsérvese que los conceptos más importantes, además del de contexto social que es el principal, son matriz extracelular, gluco o glicocálix, fluido extracelular y uniones celulares. Estos conceptos toman sentido en la coherencia vertical, cuando las células se unen para formar tejidos, órganos, aparatos o sistemas, entre otros. Elaborada con el programa Eve©

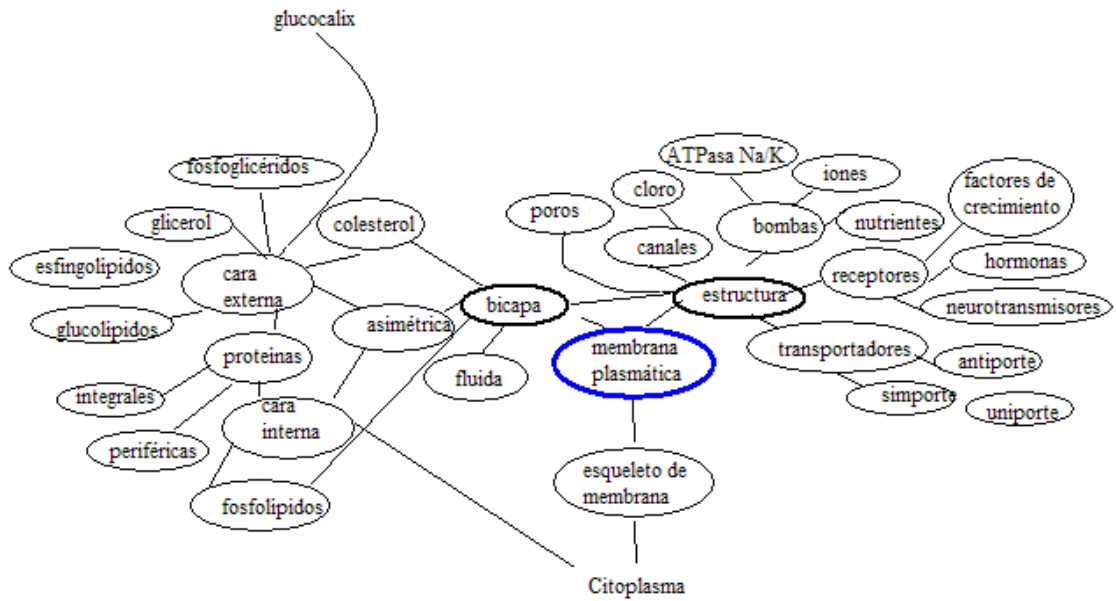


Figura 6.6 Estructura conceptual de la membrana plasmática. Es importante ver, además de la estructura misma, que el esqueleto de membrana se conecta con el citoplasma (se presenta un fragmento de una estructura más completa). Realizada con el programa Eve©

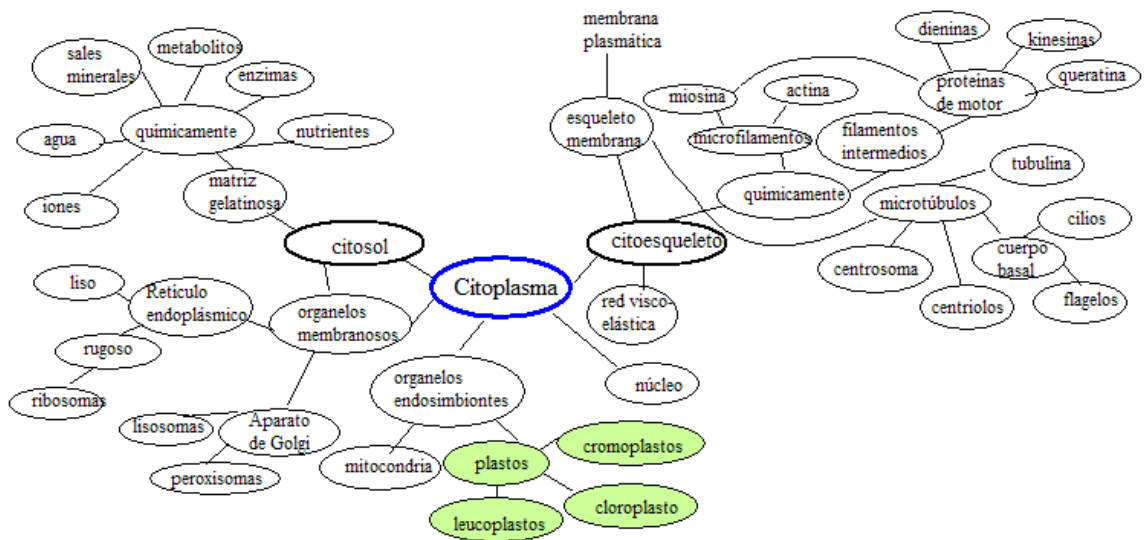


Figura 6.7 Estructura conceptual del citoplasma. Se destacan las dos regiones más importantes, el citosol y el citoesqueleto, se observa la conexión hacia la membrana plasmática. Elaborada con el programa Eve©

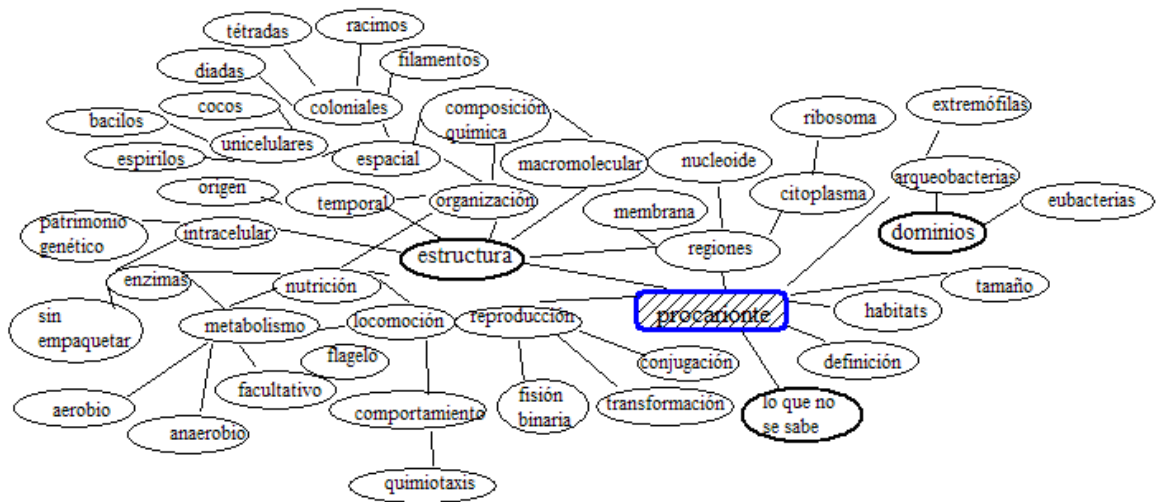


Figura 6.8 Estructura conceptual de una célula procarionte. Los conceptos más importantes la estructura de la célula misma, los dominios que comprende y lo que no se sabe de ellas. Realizada con el programa Eve©

Referencias

Bibliografía:

Aréchiga, Hugo. 2001. El universo interior. SEP/CFE/CONACYT, México, D. F. Colección la ciencia para todos. No.182. 279 pág.

Athabasca University. 2006. Theory and Practice of Online learning. Libro electrónico.

Ausubel, David, P., Joseph Novak y Hanesian Helen. 2001. Psicología educativa. Trillas, México, 623 págs.

Barba Martin Leticia. 1969. Los planes de estudio en la educación secundaria: propósitos de organización y justificación. Tesis Licenciatura (Licenciado en Pedagogía) UNAM, Facultad de Filosofía y Letras, México, 33 págs.

Benítez Rosas, Mayoli 2006. "La idea de lo posible desde la imagen fotográfica". Tesis para obtener el título de Licenciada en Artes visuales. ENAP-UNAM. P-128.

Berdichevsky Feldman Aline. 2005. El papel de la imagen en la enseñanza-aprendizaje de la biología. Análisis de las ilustraciones de célula en los textos oficiales de secundaria bajo los criterios cognitivos y citológicos. Tesis Licenciatura. Biólogo. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 63p.

Brailowsky, Simón, Donald G. Stein y Bruno Hill. 1992. El Cerebro averiado. Plasticidad Cerebral y recuperación funcional. CONACYT/CFE, México, 279 páginas.

Bruner, Jerome. 1989. Acción, pensamiento y lenguaje. Alianza Editorial, Psicología. 232 pág.

Burón, Orejas Javier. 1996. Enseñar a aprender: Introducción a la metacognición. 3ª Edición. Ediciones Mensajero. Bilbao, España. 157 páginas.

Buurman M. Gerhard (edited by). 2005. Total Interaction Theory and practice of a new paradigm for the design disciplines. Birkhäuser Publishers for Architecture. Germany. 368 pages.

Buzan, Tony y Barry Buzan. 1996. El libro de los mapas mentales. Cómo utilizar al máximo las capacidades de la mente. Ediciones Urano, Barcelona España. 350 páginas.

Camacho Rosales, Juan. 2006. Estadística con SPSS para Windows versión 12. Alfa Omega Grupo Editor. México. 410 páginas.

Clegg, C. J. 2000. Introduction to advanced biology. John Murray Publishers. London, Great Britain. 528 pages.

Consejo Académico del Bachillerato de la UNAM (CAB). 2002. Núcleo de Conocimientos básicos y formación que debe proporcionar el Bachillerato de la UNAM. CAB-UNAM, México.

Cummins, Robert y Denis Dellarosa Cummins. 2000. *Minds, Brains and Computers. The foundation of cognitive science. An anthology*, Blackweel Publishers. Massachusetts, USA. 552 pages.

Chang, Ni. Ed "Why is expect of Facilitator in a Virtual Learning environment? In: Mizoguchi, et al 2006. *International Conference in Computer in Education. Learning by effective utilization of technology: facilitating intercultural understanding*. IOS Press

Chávez Arredondo Nemesio (compilador). 2001. *Todo por saber. Ensayos de cultura científica*. Dirección General de comunicación de la Ciencia, UNAM, México. 242 pág.

Da Vinci, Leonardo. 2002. *Leonardo on Art and the artist*. Dover Publications, Inc., Minesota, N.Y. 255 pages.

Desdre Gentner & Albert L Stevens. 1983. *Mental Models*. Laurence Erlbaum. Hillsdale, New Jersey. 348 págs.

Devlin, Thomas, M. 2004. *Bioquímica libro de texto con aplicaciones clínicas*. Editorial Reverté, Barcelona, España. 4ª edición. 1216 págs.

Díaz, José Luis, Mario Casanueva, Ruy Pérez Tamayo, Alfredo López Austin (coordinador), y Jaime Labastida, 2005. *El modelo en la ciencia y la cultura. Siglo XXI/UNAM, México*, 136 páginas (Cuadernos del seminario de problemas científicos y filosóficos de la UNAM).

Díaz, de León Ana Eugenia. 1988. *Guía de comprensión de lectura de textos científicos y técnicos*. SESIC/ANUIES, México. 141 págs.

Escámez, Juan y Ramón Gil. 2001. *La educación en la responsabilidad*. Ediciones Paidós, Barcelona, España. 150 páginas.

Esquirol, Joseph (2006) *El respeto o la mirada atenta. Una ética para la era de la ciencia y la tecnología*. Barcelona, España, Gedisa Editorial. Serie CLA.DE.MA Filosofía.

Fisher, Kathleen, M., James, H. Wandersee and David, E. Moody. 2000. *Mapping Biology Knowledge*. Academic Press Kluwer, Dordreht, Holland, 231 pages.

Ganis, Giorgio, William L Thompson, Fred Mast y Stephen M. Kosslyn. 2004. *The brain's Mind's Images: The Cognitive Neuroscience of mental imagery*. Cap. 67. Pages 931-941. En: Gazzaniga Michel, S. (Editor in Chief). 2004. *The cognitive neurosciences*. A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA 1385 pages.

Gazzaniga Michel, S. (Editor in Chief). 2004. *The cognitive neurosciences*. A Bradford Book, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA 1385 pages.

Gert Rickheit y Christopher Habel. 1999. Mental models in discourse processing and reasoning. Amsterdam, New Holland .

Gimeno Sacristán, José y Angel I Pérez Gómez. 1999. Comprender y transformar la enseñanza. Editorial Morata, Madrid. 447 págs.

Greene, Judith y Manuela D' Oliveira. (Fraile Maldonado Carolina, traductor). 2006. Pruebas estadísticas para psicología y ciencias sociales: Una guía para el estudiante. Editorial Mc Graw Hill, Interamericana, España.

Heinze-Fry, Jane and G Tyler Miller, Jr. 1997. Critical Thinking and the environment. Wadsworth Publishing Co. USA. 93 pages.

Heredia Manrique Alfonso. 2004. Curso de Didáctica General. Prensas Universitarias de Zaragoza. Universidad de Zaragoza, España. 262 págs.

Higashida, Hirose Bertha. 2005. Ciencias de la Salud. Mc Graw Hill, México. 447 págs.

Iafrancesco V., Giovanni M. 2005. Didáctica de la Biología: aportes a su desarrollo. Cooperativa Editorial Magisterio. Bogotá, Colombia, 164 pp.

Jackendoff, Ray. 1992. Lenguajes of the mind. Ensayos on Mental Representation. A Bradford Book, MIT Press, USA. Formas de representación, en especial el capítulo 8.

Jímenez, Luis Felipe (coordinador). 2006. Conocimientos fundamentales de Biología. Pearson Educación – UNAM, México, 175 páginas.

Johnson-Laird, P.N. (1983). Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness. Cambridge: Cambridge University Press.

Jonas, Hans (2004). El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica. Barcelona, España, Herder Editorial.

Karp, Gerald. 1987. Biología Celular. Mc Graw Hill. México, 2ª edición.

Knobel, Michelle y Colin Lanshear. 2003. Maneras de saber: Tres enfoques para la investigación educativa. Universidad Pedagógica Nacional, Unidad Morelia, México. 196 págs.

Koen Lamberts and David Dhanks. 1997. Knowledge concepts and categories Cambridge MIT.

Kurtz, et al. 1999 "Reasoning". En: Martin Bly, Benjamin and David E Rumelhart. 1999. Cognitive Science. Academic Press San Diego. CA, USA. 391 pages.

León, G. Orfelio e Ignacio Montero. Métodos de Investigación en Psicología y Educación. 2003. Mc. Graw Hill, Madrid, España. 454 págs.

Lévy, Pierre. 2000. Cibercultura. Relatório para o Conselho da Euroa no quadro do Project "Novas tecnologias: cooperação cultural e comunicação. Instituto Piaget, Lisboa. Colección: Epistemologia e Sociedade.

Liguori, Liliana y María Irene Noste. 2005. Didáctica de las Ciencias Naturales: enseñar ciencias naturales: enseñar a enseñar ciencias naturales. HomoSapiens Ediciones. Santa Fe, Argentina. 140 pág.

Lipowetsky Gilles. 1992. El crepúsculo del deber. La ética indolora de los nuevos tiempos democráticos. Traducción de Juana Bigozzi. Editorial Anagrama, Barcelona, España.

Mahwah N. J. 1999. The construction of mental representations during reading. Laurence Erlbaum. Hillsdale, New Jersey.

Manher y Mario Bunge. 2000. Fundamentos de Biofilosofía. Siglo XXI Editores, México, 412 págs.

Markman Arthur B. Mahwah 1998. Knowledge representation. New Jersey, Laurence Erlbaum, Hillsdale, New Jersey.

Marina, José Antonio. 1997. El misterio de la voluntad perdida. Editorial Anagrama, Barcelona, España.

Martin Bly, Benjamin and David E Rumelhart. 1999. Cognitive Science. Academic Press San Diego. CA, USA. 391 pages.

Mather, George. 2006. Foundations of Perception. Psychology Press. Hove Great Britain. 394 pages.

Michel, Denis 1996. Imagery and the Description of Spatial Configurations in: Models of Visuospatial Cognition, Manuel de Vega, Margaret Jean Intons Peterson, Philip Johnson-Laird, Michel Denis y Marc Marschark, Cap 4 pp 128-197, New York, Oxford, Oxford University Press.

Michel Denis, et De Vega, M. 1990. "Modèles mentaux et imagerie mentale", in Ehrlich M. F. et al, Les modèles mentaux: Approches cognitives des représentations, Paris: Masson, p. 79-100.

Michel, Denis. 1984. Las imágenes mentales. Siglo XXI Editores. México. 1a. Ed. en Español 248 Págs.

Muñoz Cruz, Miriam Virginia. 2006. E – portafolio docente Mendeliano: Una alternativa para el aprendizaje con estudiantes del Bachillerato universitario. Tesis para obtener el grado de Maestra en Pedagogía. Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, México. 120 páginas.

National Research Council of National Academies (NRCNA) 2005. Chapter 4: "Understanding Cells". Mathematics and Biology 21st Century. The National Academies Press. Washington D. C. 149 pages.

OCDE. 2003. La comprensión del cerebro. Hacia una nueva ciencia del aprendizaje. OCDE (Organización para la cooperación y el desarrollo económicos. Aula XXI, Santillana, México. 167 págs.

Ortells Juan José. 1996. Imágenes mentales. Editorial Paidós, Barcelona, España. 187 págs.

Pacheco Hernández, Rosa Margarita. 2004. Estrategia didáctica introductoria para enseñanza del tema de la célula en el bachillerato. Tesis de Licenciatura (Biólogo), UNAM, Facultad de Ciencias, México. 136p

Paniagua Gómez – Álvarez, Ricardo, Manuel Nistal Martín de Serrano, Ma del Pilar Sesma Esozcue, Manuel Álvarez – Uría Rico Valdemoro, Benito Fraile Láiz, Ramón Anadón Álvarez y Francisco Sáez Crespo. 2003. Biología Celular. 2ª edición. Madrid, España, 381 páginas.

Paivio, Allan 1990. Mental Representations. A dual coding approach. Oxford University Press, N.Y., USA. 322 pág.

Penrose, Roger. 2002. La mente nueva del emperador. En torno a la cibernética, la mente y las leyes de la física. Fondo de Cultura Económica. México.

Pérez Benítez Roberto Hermilo. 1998. "Formas y recursos de la comunicación electrónica". Tesis para optar por el grado de Doctor en Pedagogía. FF y L de la UNAM, División de estudios de Posgrado. Departamento de Pedagogía.

Pinker, Steven y Jacque Mehler. Connections and Symbols, A cognition special issue. A bradford Book. The MIT Press, Cambridge, USA, 255 pages.

Pizarro de Zulliger, Beatriz. 2003. Neurociencia y educación. Colección Aula Abierta. Editorial La Muralla, Madrid, España.

Pollard, Thomas D. & William C. Earnshaw. 2008. Cell Biology. 1st Edition. Saunders - Elsevier, Philadelphia, Pennsylvania, USA. 813 pages.

Pozo, Juan Ignacio, Nora Scheuer, María del Puy Pérez Echeverría, Mar Mateos, Elena Martín y Montserrat de la Cruz. 2006. Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos. Editorial Graó, de IRIF, S. L Barcelona, España. 459 páginas.

Priti Shah & Akira Miyake. 2005. The Cambridge hand book of visuospatial thinking. Cambridge University Press. N. Y., USA. 561 pages.

Pró Maite. 2003. Aprender con imágenes Incidencia y uso de la imagen en las estrategias de aprendizaje. Ediciones Paidós, Papeles de Pedagogía. Barcelona, España. 246 páginas.

Purves, Dale, George J. Augustin, David Fitzpatric, Lawrence C. Kats, Anthony Samuel LaMantia, James O Mc Namara y S. Mark Wiliiams (editors). 2001.

Neuroscience. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA. 2nd Edition. 681 pages.

Rodríguez Diéguez, J. L. 1979. Las funciones de la imagen en la enseñanza. Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona, España (Colección de Comunicación visual).

Ruíz - Velasco, Sánchez, Enrique. 2003. Exploración y comunicación a través de la informática, Grupo editorial Iberoamérica, México, 310 pp.

Ruíz - Velasco, Sánchez, Enrique. 2007. Educatrónica. Innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnología. UNAM/IISUE/Díaz de Santos. Madrid, 394 páginas.

Sarramona, Jaume. 1990. Tecnología educativa (Una valoración crítica). Ediciones CEAC, S. A., Barcelona, España.

Silva, Carmen (compiladora). 1996. Avances del Coloquio de doctorandos de Filosofía, de la FFL de la UNAM. 159 páginas.

Slator, B. M. *et al.* 2002. "Virtual Worlds for Science Teaching". En: Jaín, L., R. J. Howlett, N. S. Ichankaranje y G. Tortoni (eds.). 2002. Virtual Environments for Learning and Teaching. World Scientific, New Jersey. 405 pages.

Starr, Cecie y Ralph Taggart. 2004. Biología: la unidad y diversidad de la vida. 10a edición. 555 páginas.

Soto, Lombara Carlos Arturo. 2002. Metacognición, cambio conceptual y enseñanza de las ciencias. Cooperativa Editorial Magisterio, Bogotá, Colombia 98 páginas.

Styles, Elizabeth, A. 2005. Attention, Perception and Memory. An integrated Introduction. Psychology Press. Hove, Sussex, Great Britain.

Toga W. Arthur y John C Mazziota. 2002. Brain Mapping. The Methods. 2nd Edition Academic Press/ Elsevier USA, San Diego California. 877.

Tversky, Barbara 2005. Chapter 1, "Functional Significance of Visuospatial representation" By. Priti Shah & Akira Miyake. 2005. The Cambridge hand book of visuospatial thinking. Cambridge University Press. N. Y., USA. 561 pages.

UNAM. 1999. Legislación académico laboral universitaria. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 214 páginas.

Villoro, Luis 2004. Creer, saber, conocer. Siglo XXI Editores. México, D. F. 310 páginas.

Zongmin, Ma. 2006. Web-based intelligent e-learning: systems, technology and application. Information scientific publishing, Germany. 388 pages.

Hemerografía:

Beugnon, Guy, Bertrand Schatz y Jean Paul Lachaud. "Las hormigas acuden puntuales a sus citas". *Mundo científico*. No. 155, Vol. 15: 268-269.

Brill, Gilat, Hedda Falk, y Anat Yardeen. 2004. "The learning processes of two high school biology students when reading primary literature". *International Journal of Science Education*. 19, March, Vol. 26, No.4, 497-512.

Calderón, Garcidueñas Eva Delia y Agustín López Murguía. 2005. "¿De quién es este ombligo?" *¿Cómo ves?* Año 7, No.75, 10-14.

Castellanos, Aldo Sartorius 2004. "Sistema de Laboratorios a Distancia (SDL): Laboratorio para la enseñanza del control automático a distancia". *Informática na educação: teoria & prática*. Porto Alegre. Vol. 7, No.1, p 11-24, jan/jun.

Cook, Michelle, Glenda Carter and Eric N. Wiebe. 2008. "The Interpretation of Cellular Transport Graphics by Students with Low and High Prior Knowledge". *International Journal of Science Education*. Vol. 30, No. 2, p 239-261.

Chi, Yant Tsui y Treagust. 2004. "Motivational aspects of learning genetics with interactive multimedia". *The American Biology Teacher*. Vol.6, No. 4, April. Pages: 227-285.

Flores, Fernando, Ma. Eugenia Tovar and Leticia Gallegos. 2003. "Representation of the cell and its processes in high school students: an integrated view. *Int. J. Sci. Edu.* Vol 25, No. 2: 269-286.

Gilbert, 1993 en Verhoeff, Roald, Arend Jan Warloo y Kerst, Th. Boersma. 2008. "Systems Modelling and development of coherent understanding of cell biology". *International Journal of Science Education*. 30(4):543-568.

Grueter, Thomas. "How does the brain created images in our mind?" *Scientific American Mind*. February March 2006 p 18-21.

Holliday, William G., Larry, D. Yore y Donna E. Alvermann 1994. "The reading science learning – writing connections breakthroughs, barriers and promises". *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 31. No. 9, pp 877-893.

Kitchen, Elizabeth Suzanne Reeve, John D. Bell, Richard R. Sudweeks and William S. Bradshaw. 2007. "The Development and Application of Affective Assessment in an Upper - Level Cell Biology Course. *Journal of Research in Science Teaching* Vol. 44. No. 8, pages:1057 – 1087.

Köpen, Elke. "Las ilustraciones en los artículos científicos: reflexiones acerca de la creciente importancia de lo visual en la comunicación científica". *Investigación Bibliotecológica*, Vol. 21, Núm. 42, enero/junio, 2007, México p: 13 – 32

León Cázares, Jesús Manuel y María Teresa Elizabeth Flores Rodríguez. 1994. "Información integrada vs. información aislada" BEB 94 (Boletín de educación bioquímica), Vol 13, No.1 pág.4

Matsuno Koichiro. "Beyond geometrization biology". Revista Uroboros. Vol.1 (2): 117-139 (1991).

Mclahan, John, C. Using models to enhance the intellectual content of learning in developmental biology. Int J. Dev Biol.47:225-229 (2003).

Myers, David G. 2007. The powers and perils of Intuition. Scientific American Mind. June/July. 24-31

Palmero Rodríguez, María de la Luz. 2002. "La concepción científica de célula para la enseñanza de la Biología. Una reflexión aplicable a la escuela secundaria". Revista de Educación en Biología. Vol. 5, No. 1: 41-49. (Colombia).

Perales Palacios, F. Javier. 2006. "Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias". Revista Enseñanza de las Ciencias, Vol. 24, Num. 1, México p:13-30

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. 1982. Accommodation of scientific conception: Toward a theory o conceptual change. Science Education, 66, 211-227.

Pozzer, Leivas Lilian y Wolf-Michael Roth. 2003. "Prevalence, function, and structure of photographs in high school Biology textbook. Journal of Research in Science Teaching. Vol 40, No. 10, pp 1089-1114.

Rieu, Michel. "La biología del deportista". Mundo científico. No. 128, Vol. 12, págs:370-379.

Sadler, Troy and Dana Zeidler. "Teaching Bad Science". The science teacher. December 70(9):36-40.

Sánchez, Norma B. y Consuelo Escudero. 2002. "Las situaciones problemáticas en los textos escolares de biología antes y después de la reforma educativa". Revista de Educación en Biología. 5(1):20-31 (Colombia).

Sutton, Clive. 2003. "Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje". Revista Enseñanza de las Ciencias 21(1):21-25.

Verhoeff, Roald, Arend Jan Warloo y Kerst, Th. Boersma. 2008. "Systems Modelling and development of coherent understanding of cell biology". International Journal of Science Education. 30(4):543-568.

Webgrafía

Bernie, Dodge y Tom March. 2002 Tareonomía de webquest. Sitio que explica las distintas tareas a realizar con los webquest; por ejemplo tareas de recopilación, científicas, de misterio, de persuasión, de construcción de consenso, periodísticas, etc. Disponible en <http://edweb.sdsu.edu/webquest/taskonomy.html> y en: <http://edweb.sdsu.edu/webquest/>

Carvalho, Marco, Rattikorn, Hewett y Alberto Cañas. 2006. Institute for Human & Maching Cognition Pensacola FI, USA. "Enhancing web searches from Concept map – based knowledge models. Sayafeni, Frank & Alberto Cañas. 2006. CMaps: Institute for Human & Maching Cognition Pensacola FI., USA. <http://ihmc.us>.

Célula virtual <http://vcell.ndsu.edu/> pertenece a la *National Science Foundation of Deparment of education* y al *WWW Instructional Committee* de la Universidad del Estado de North Dakota.

Página consultada el 13 de septiembre de 2007, por Miriam Virginia Muñoz Cruz.

Denis, Mitchel. (1996) Imagery and the Description of Spatial Configurations in: Models of Visuospatial Cognition, Manuel de Vega, Margaret Jean Intons Peterson, Philip Johnson-Laird, Michel Denis y Marc Marschark, Cap 4 pp 128-197, New York, Oxford, Oxford University Press. <http://www.limsi.fr/Recherche/CHMdp.html>

Enrique Iones Pareja del Departamento de Microbiología e Instituto de Biotecnología de la Universidad de Granada. Un sitio muy rico que incluye videos, imágenes e información sobre la terapia con células madre para diferentes enfermedades, los cuidados que deben tenerse etc. Consultada en Julio de 2009 por la autora. http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/clonembrion.htm#_Toc3643836

Fernández, March Amparo. 2004. "El portafolio docente como estrategia formativa y de desarrollo profesional. Revista en línea de la Universidad Politécnica de Madrid. Educar. No. 33. <http://www.bib.uab.es/pub/educar/0211819Xn33p127.pdf>

Gil Pérez, Daniel y Amparo Vilches 2006. "Educación ciudadanía y alfabetización científica: Mitos y Realidades". OEI - [Revista Iberoamericana de Educación](http://www.rieoei.org/rie42a02.htm) – No. 42 <http://www.rieoei.org/rie42a02.htm> Revista en línea.

El 29 de marzo de 2006 a las 10:39 fue consultada esta página por Miriam V. Muñoz Cruz.

Jonassen David H. 2006. Computadores como Herramientas de la Mente <http://www.eduteka.org/TemaEducadores.php>

Página consultada el 23 de agosto de 2006 por Miriam V. Muñoz Cruz.

Lévy, Pierre (2004). La inteligencia colectiva por una antropología del ciberespacio. EUA, Washington, BVS/BIREME/OPS/OMS. Libro electrónico, disponible en: <http://inteligenciacolectiva.bvsalud.org>

Madrane, M. Khaldi, R. Janati-Idrissi, R. Zerhane et M. Talbi. "Importance didactique des obstacles à l'apprentissage dans une perspective de formation à l'enseignement des sciences". *Revue africaine de didactique des sciences et des mathématiques*, Numero 2, 30 mars 2007. <http://www.radisma.infodocument.php?id=460>. Página Consultada el 2 de enero de 2008 por Miriam V. Muñoz Cruz.

O' Day, Danton H. Using animations to teach biology: past & future research on the attributes that underlie pedagogically sound animations. *The American Biology Teacher*. May 2008. Disponible en <http://www.encyclopedia.com> Contiene recursos especializados en educación. Es publicado por CENGAGE Learning y Oxford University Press. Fue consultada en Julio de 2009 por la Dra. Dulce Gilbón Acevedo.

Página de Biología *del American Institute of Biological Science*. Sitio educativo no comercial, que ahora la alfabetización en Ciencias Biológicas. Ofrece secciones críticas de tópicos variados: biodiversidad, evolución, biotecnología, genómica, entre otras. Página En el apartado asuntos críticos para la Biotecnología, dar clic en células madre para terapias celulares.
<http://www.actionbioscience.org/spanishdirectory.html>

Página de Biología de la Universidad de Arizona. Recursos interactivos para aprender Biología. Contiene textos, imágenes y tutoriales de Biología celular, entre otros. Consultada el 27 de julio de 2009 por Miriam V. Muñoz Cruz.
<http://www.biologia.arizona.edu/>

Página web de una institución privada de Medellín, Colombia, que pertenece al Comité de Bancos de tejidos de Antioquia, presenta información sobre células madre, las enfermedades que potencialmente podrían curarse y la conservación de las células y de dónde se obtienen.
<http://www.cordondvida.com/medicos.html>

Portal de Biología y Ciencias de la salud. Colección de recursos sobre Biología. Revista electrónica de publicación trimestral De Clara C. Sotelo Vidal y Carlos Costa Portela de la Universidad de Vigo. Consultada el 1º de mayo de 2006
<http://www.biologia.org/>

Potyrała, Katarzyna. 2008. Compétences biologiques des élèves à la lumière des normes européennes: Faculté de Didactique de la Biologie, Institut de Biologie, Académie Pédagogique de Cracovie, Pologne
En:<http://www.inrp.fr/Acces/Biennale/7biennale/Contrib/longue/6513.pdf>
Página Consultada el 2 de enero de 2008 por Miriam V. Muñoz Cruz.

Pozo, Juan Ignacio. 1999. "Mas allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional". *Revista Enseñanza de las Ciencias*. Vol.17 (3) 513-520 Univ. Autónoma de Madrid, Fac. Psicología, Dep. Psicología Básica, España. <http://ec3.ugr.es/in-recs/articulos/86663.htm> Página consultada el Martes 15 de enero de 2008 por Miriam V. Muñoz Cruz.

Pozo, Juan Ignacio. 2008. "¿Puede la educación científica sustituir el saber cotidiano de los alumnos?" En: <http://www.smf.mx/boletin/2005/Ene-05/Ensenanza.html>

Programa para realizar simulaciones por computadora. <http://www.stagecast.com>
Página consultada el día 1º de mayo de 2006.

<http://www.tltc.ttu.edu/teach/teachingportafolio.asp>

Página de la Texas Tech University, en Austin. The Center for Teaching Effectiveness. 2007. What is a Teaching Portfolio? Recursos educativos en línea para la enseñanza mediante portafolio.

Schraw George and David W. Brooks. 2006. Helping students self regulate in Math and Sciences Courses: Improving the will and the skill. Disponible en <http://dwb.unl.edu/Chau/SR/Self-Reg.html> Página de la Universidad de Nebraska Lincoln, EUA, Consultada el 24 de agosto de 2006 por Miriam V. Muñoz Cruz.

Thompson, Herb. 2001 Cybersystemic Learning. Página consultada por Miriam V. Muñoz Cruz, el 19 de julio de 2006.

http://radicalpedagogy.icaap.org/content/issue3_2/thompson.html

Referencias de trabajos de Denis Mitchel

<http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M495/ECOLIER.pdf>

Página consultada el día miércoles 26 de abril de 2006.

Schunk, 1991 en: Schraw Gregory y David W. Brooks, 2006. "Helping students regulate in math and sciences courses: improving the will and the skill". University of Nebraska, Lincoln. Página consultada 24/08/2006.

http://dwb.unl.edu/chau/SR/Self_Reg.html

Theseus pertenece a la organización Skymark, 2008. Está basada en el trabajo del Dr. Andy Norman de la Universidad de Carnegie Mellon. Página consultada por Miriam Muñoz el 31/12/2008

<http://www.skymark.com/Theseus/overview.asp/>

Visual Thesaurus es un diccionario interactivo en Inglés. Página consultada el 17 de abril de 2009. <http://www.visualthesaurus.com>

Visual Mind es una página de la organización Buzan, al igual que el software de Mind mapping, que pertenecen a Mind Technologies protegidas por Copyright 1998-2008. Página consultada por Miriam Muñoz el 31/12/2008 <http://www.visual-mind.com>

Manuscritos

Alvarez Pérez Eréndira, García Méndez Julieta Valentina, Rosas Chávez Leobardo Antonio y Muñoz Cruz Miriam Virginia. 2007. Programa universitario transdisciplinario de titulación a través del Sistema Universidad Abierta y Educación a distancia. Ponencia presentada en el XXIII Simposio Internacional SOMECE, En Morelia, Michoacán, México.

Cabrera, Hidalgo Edgar. 2009. Aprendizaje. Escuela Nacional Preparatoria.

García, Méndez J. V. 2005. Evaluación y formación con microexperiencias didácticas para profesores y para alumnos. CUAED-UNAM

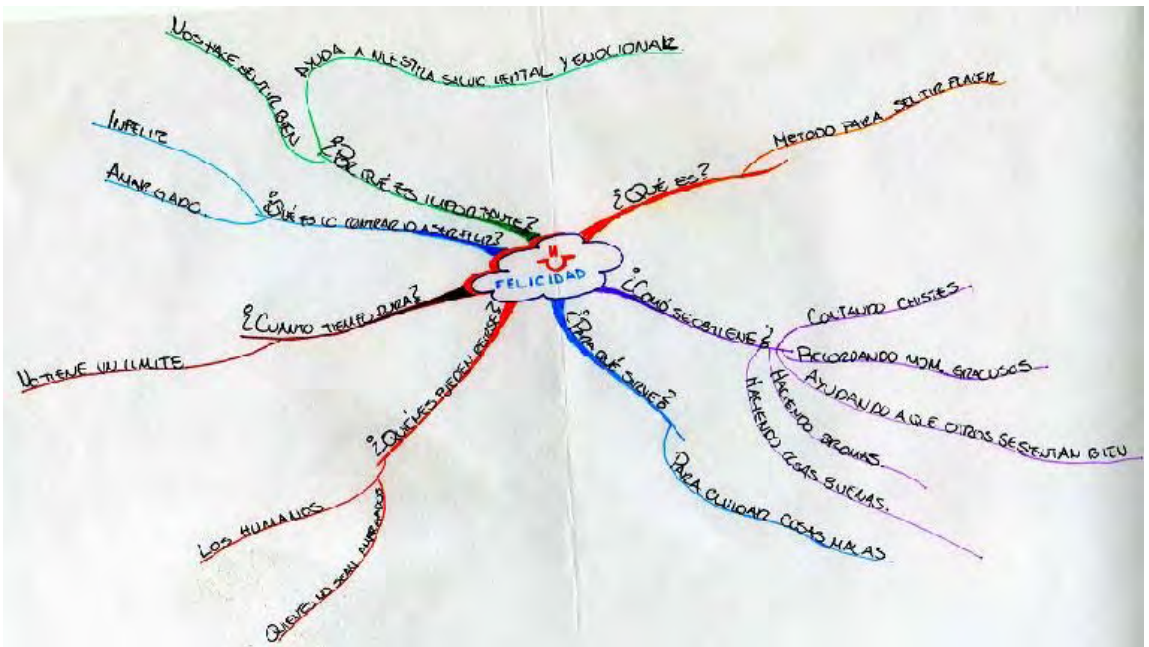
García, Landeros Damaris O y Elizabeth Martínez Sánchez. 2007. ¿Qué es una plataforma e-learning? Documento de Trabajo de SERUNAM (Manuscrito).

Lévy, Pierre. 2008. From social computing to reflexive collective intelligence: the semantic space research program. University of Ottawa. Conferencia magistral presentada en XXIV Simposio Internacional SOMECE, en Veracruz, México.

Apéndice 1 Otras felicidades, hormigas y deportistas

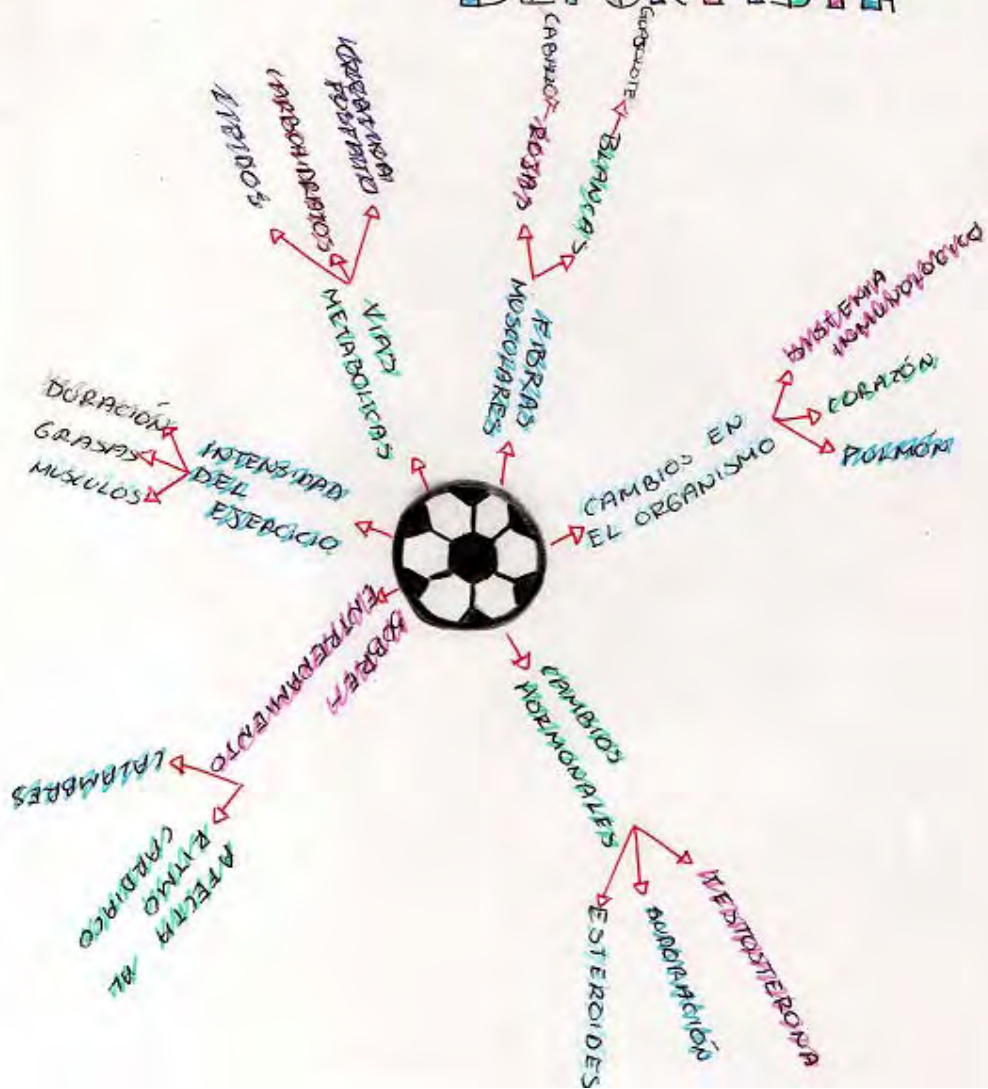


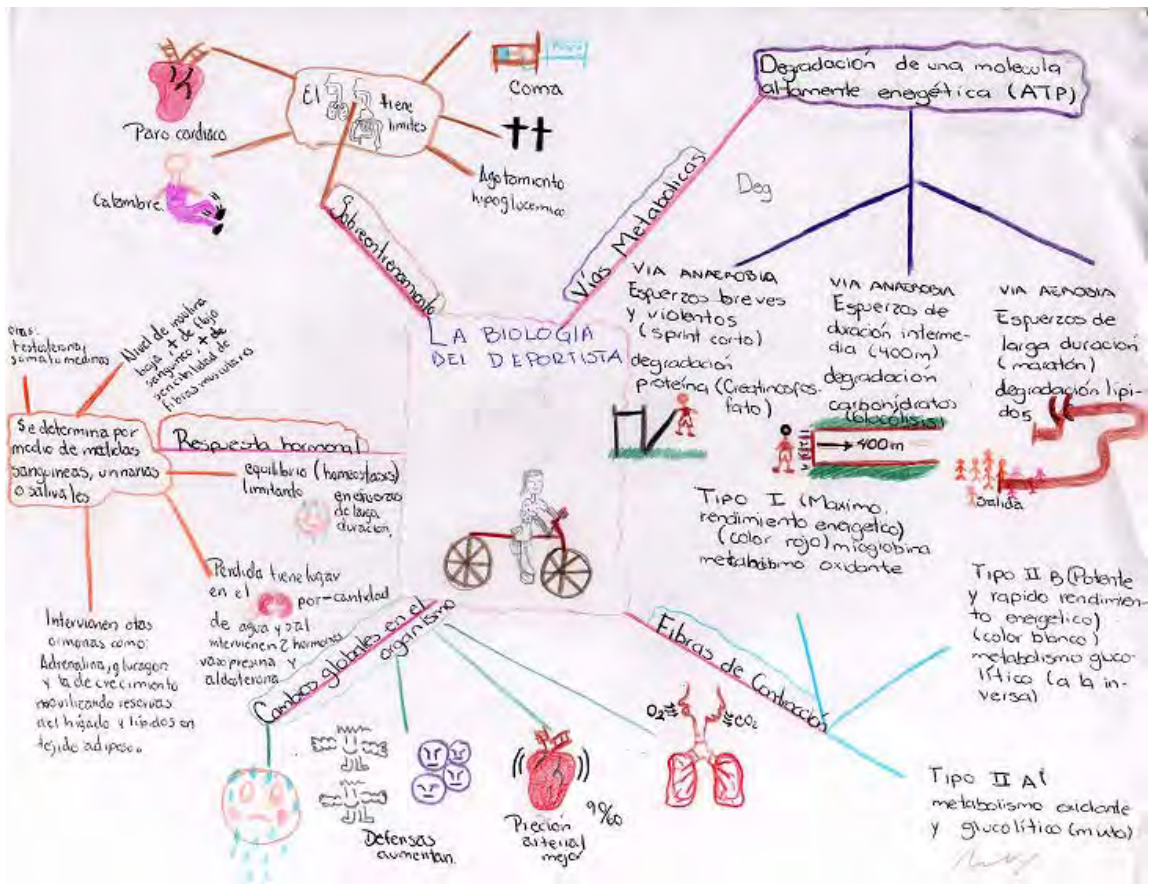






LA BIOLOGÍA DEL DEPORTISTA





Apéndice 2 "Las hormigas acuden puntuales a sus citas"

LAS HORMIGAS ACUDEN PUNTUALES A LAS CITAS

AL IGUAL QUE LAS AVES Y
LOS MAMÍFEROS, LAS
HORMIGAS SON
CAPACES DE ACUDIR A
LUGARES DIFERENTES EN
MOMENTOS EXACTOS
DEL DÍA. TODA UNA
PROEZA PARA UNOS
CEREBROS
TAN PEQUEÑOS.



En el transcurso de la evolución, ciertas especies animales han desarrollado capacidades de orientación que les permiten buscar su alimento con mayor eficacia que si hicieran la búsqueda de manera más aleatoria.⁽¹⁾ Con gran frecuencia, la gestión de las informaciones relacionadas con el espacio y el tiempo condiciona la supervivencia de los animales en su medio natural. Por esto, ciertos animales aprenden de una manera exacta en qué momentos y en qué lugares especiales tienen a su disposi-

ción las fuentes de alimentación. Esta forma de aprendizaje de tipo espacio-temporal ha sido demostrada en laboratorio en varias especies de aves, como la curruca y la paloma. También se ha observado en medio natural en aves limícolas, las cuales son capaces de prever los ritmos de las mareas con el fin de capturar los moluscos accesibles durante la marea baja. A una escala de tiempo mayor, J. Terborgh, de la universidad de Princeton (New Jersey), demostró, en 1983, que algunos

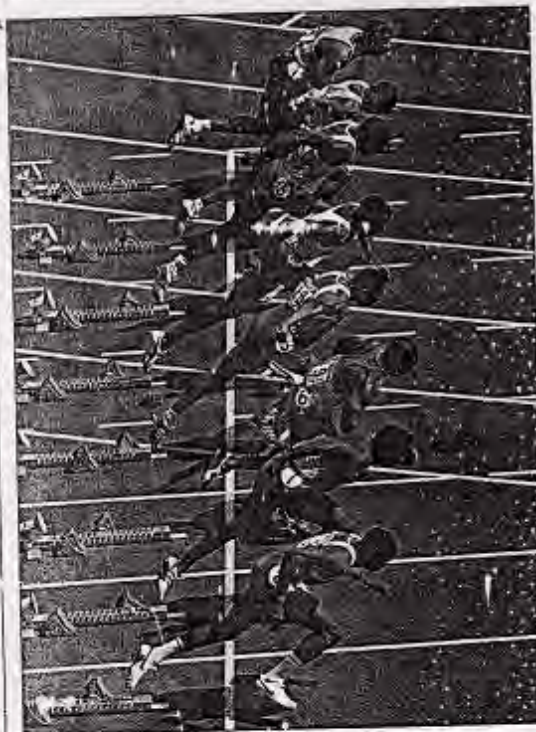
A las hormigas tropicales *Ecitonina nigrum* (véase la fotografía) les encantan ciertas sustancias azucaradas que complementan su alimentación proteínica de base. Este alimento ha sido utilizado por los investigadores del laboratorio de etología y psicología animal asociado al CNRS, de la universidad Paul Sabatier, de Toulouse, con el fin de comprobar la capacidad de las recolectoras de miel para asociar momentos diferentes del día con lugares también diferentes. Los investigadores construyeron un dispositivo (que aquí se esquematiza) en el cual tres lugares diferentes, reconocibles visualmente gracias a una marca geométrica distinta, se provisionan en horas diferentes del día. Las hormigas no faltan a la cita y saben estimar el tiempo durante el cual está disponible la miel (una hora). En efecto, si un día el investigador no deposita miel, las recolectoras continúan acudiendo puntualmente a las citas. De este modo, la hormiga demuestra una capacidad de asociación comparable, e incluso idéntica, a la de las aves y los mamíferos. Una característica que, dada la mayor simplicidad del sistema nervioso del insecto, no dejara de interesar a los investigadores de las ciencias cognitivas. (Foto Guy Beugnion.)

primates frugívoros se desplazan a grandes distancias para llegar hasta árboles dispersados en su territorio, y lo hacen precisamente en el momento en que los frutos codiciados están maduros.⁽²⁾ Pero el aprendizaje espacio-temporal jamás ha sido demostrado de manera convincente en los invertebrados.⁽³⁾ No obstante, algunas especies de invertebrados, especialmente ciertos insectos sociales, son capaces de comportamientos complejos, a pesar de que su equipo sensorial es mucho más simple que

LA BIOLOGÍA DEL DEPORTISTA

MICHEL RIEU

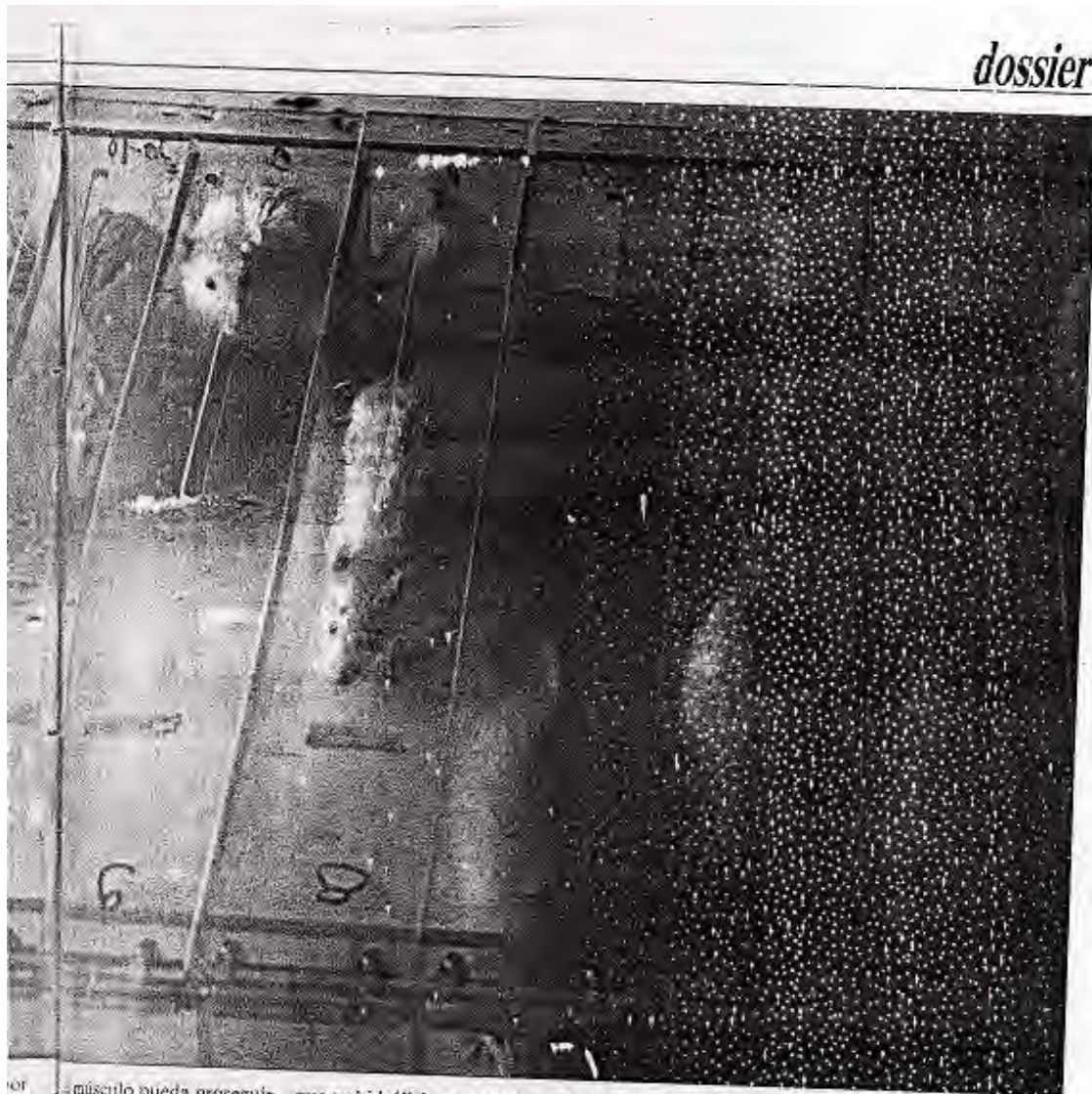
El esfuerzo físico va acompañado de todo un conjunto de reacciones metabólicas, hormonales, cardíacas, incluso inmunológicas, que tratan de dar suficiente energía al músculo y mantener la integridad corporal. ¿Por qué el atleta de alto nivel resiste mejor la fatiga muscular? ¿Cómo repercute el entrenamiento sobre la fibra muscular o el equilibrio hormonal? Desde hace decenios, estudios realizados con deportistas de alto nivel o en modelos animales de entrenamiento permiten responder en parte a estas preguntas.



En el hombre, la función muscular encuentra en el deporte una forma de sublimación. Dado que la competición lleva a actividades extremas, el atleta constituye para el científico un notable modelo de las capacidades de adaptación del organismo humano al esfuerzo físico. Desde hace dos decenios, se ha avanzado mucho, sobre todo en el conocimiento de las modificaciones de la fibra muscular en respuesta al esfuerzo. Se está llegando a una mejor comprensión de los efectos del entrenamiento y por lo tanto de la mejora de los resultados (fig. 1). La realización de un simple y único ejercicio produce numerosas reacciones fisiológicas, cuyo resultado último es dar a los músculos la energía necesaria para su contracción. Ésta se debe a los cambios de conformación de las proteínas contráctiles de la fibra muscular (véase el recuadro 1), que requieren la presencia de iones calcio, y que consumen energía. A la escala de la fibra muscular,

esta energía viene dada por la degradación de una molécula altamente energética, el adenosintrifosfato (ATP). La hidrólisis enzimática de un mol de ATP, auténtico «combustible» celular, proporciona unos 40 kilojulios (kJ). Cuanto más fuerte es la contracción, mayor es el número de moléculas de ATP consumidas por unidad de tiempo. No obstante, la estasa reserva de ATP inmediatamente disponible en la fibra muscular se agotaría en uno o dos segundos en un esfuerzo de gran intensidad, una carrera de 100 m por ejemplo. Para que la contracción





El músculo pueda proseguir dispone una reposición de reserva de ATP. Dentro de la fibra muscular, tres vías metabólicas aseguran la producción de ATP (fig. 2). El acortamiento de estas vías es antiguo; es el fruto de numerosos trabajos llevados a cabo en la primera mitad del siglo XX.⁽¹⁾ La primera vía, transitoria, responde a la degradación de una proteína rica en energía, almacenada también a débil concentración en la fibra muscular: la creatinafosfato. Esta proteína constituye una reserva inmediatamente disponible, ya

que su hidrólisis provoca directamente la restauración del ATP. Permite aprovisionar la fibra en una cantidad suficiente de energía durante un tiempo corto, de aproximadamente 5 o 7 segundos. Esta es la vía que interviene durante los esfuerzos breves y violentos (sprint corto, salto de longitud). El ATP se produce de un modo más duradero a partir de glucosa y de glucógeno. Este último constituye la forma principal de almacenamiento de los glúcidos en el músculo y el hígado. La degradación de la glucosa pone en juego una cadena de reac-

ciones enzimáticas, agrupadas bajo el término glucólisis, que tienen lugar en el citoplasma de la fibra. Desemboca en la producción de dos componentes, el ácido pirúvico y el ácido láctico. Esta vía metabólica interviene principalmente como complemento de la hidrólisis de la creatinafosfato, en esfuerzos de duración intermedia, por ejemplo en las carreras de 400 m. Estos dos primeros modos de producción de ATP en el músculo tienen en común el hecho de poder perfectamente realizarse en ausencia de oxígeno (vías anaerobias).

Figura 1. Para comprender las adaptaciones del organismo y de la fibra muscular al esfuerzo de resistencia (A), los investigadores recurren a modelos animales. Vemos en B un modelo de entrenamiento frecuentemente utilizado en la rata: el animal corre sobre una cinta transportadora, con una pendiente del 10 %. Una rata debutante suele correr a una velocidad de 15 metros por minuto durante medio hora. El animal entrenado puede correr dos veces más rápido durante dos horas seguidas. El seguimiento de las modificaciones ligadas al entrenamiento puede realizarse a partir de muestras extraídas del timo y del bazo, así como de biopsias musculares o de dosificaciones hormonales. (Fotos A: Guichouac/Vandystadt, B: M. Rieu.)

TICHEL RIEU
 es profesor de
 fisiología de la
 medicina
 (ochim-Pan
 oyl) y jefe del
 servicio de
 fisiología y
 medicina del
 deporte en el
 Hospital de
 París. Su
 investigación
 estudia las
 adaptaciones
 fisiológicas y
 metabólicas
 durante el
 ejercicio.

Pero estas vías se agotan en unos 40 segundos con ocasión de un ejercicio muy intenso. En los esfuerzos de larga duración, como la maratón (dos o tres horas de carrera como mínimo), o en una etapa del Tour, por ejemplo, interviene exclusivamente una tercera vía, llamada aerobia, para la cual la presencia de oxígeno es indispensable. La energía procede en esta ocasión de la oxidación del ácido pirúvico, producto de la glucólisis, y de los ácidos grasos, procedentes de la hidrólisis de los lípidos. Estas reacciones de oxidación aerobias, ligadas a la respiración celular, tienen lugar en unos pequeños or-

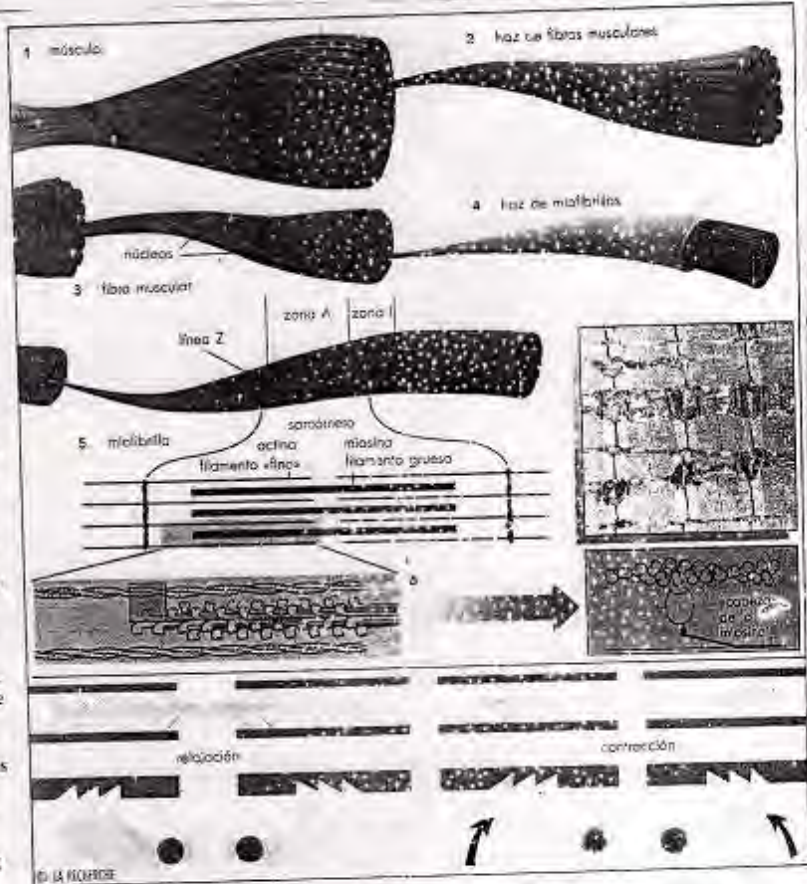
gános celulares, las mitocondrias. En realidad, no todas las fibras musculares de un músculo tienen las mismas características metabólicas (fig. 3). Algunas fibras de contracción lenta, llamadas de tipo I, tienen un mecanismo sobre todo oxidante (aerobio): contienen numerosas mitocondrias. Ricamente vascularizadas, estas fibras lentas contienen mucha mioglobina, una proteína que fija el oxígeno de la sangre y facilita su difusión en la célula. La abundancia de mioglobina les da un color rojo característico. Estas fibras contienen también muchas reservas lipídicas (en forma

de triglicéridos), que constituyen reservas energéticas. Otras fibras, por el contrario, tienen una contracción potente y rápida (tipo II B). Su metabolismo es, a la inversa, de tipo básicamente glucolítico: poseen abundantes reservas de glucógeno. En cambio, están pobremente vascularizadas, contienen menos mitocondrias y poca mioglobina. Por último, ciertas fibras musculares (tipo II A) tienen unas características intermedias. Rápidas y potentes, tienen unas propiedades metabólicas mixtas, a la vez oxidantes y glucolíticas. La velocidad de contracción de las fibras depende de la estructura de sus proteínas

contráctiles, lentas o rápidas, y de la actividad del enzima que degrada el ATP. La distribución de estas fibras varía de un músculo a otro. Así, los músculos extensores de los miembros inferiores, como el sóleo, que participan en el mantenimiento de la postura por su acción antigravitatoria, tienen un porcentaje más elevado de fibras lentas que los músculos flexores del pie. En un mismo músculo, el porcentaje respectivo de las fibras lentas y rápidas varía según los individuos. Por último, la puesta en juego de estas diferentes fibras depende de la intensidad de la contracción muscular. Las primeras que

La máquina muscular

Cada músculo está formado por fibras musculares agrupadas en haces (1 y 2). La fibra es una célula única de gran tamaño, que tiene la particularidad de contener numerosos núcleos (3). En su interior se alinean haces de miofibrillas (4), formadas por filamentos de proteínas contráctiles, visibles en la imagen de microscopía electrónica. El aspecto estriado de la miofibrilla se debe a la alternancia de zonas oscuras (zona A) y zonas claras (zona I), recorridas por una línea (línea Z). El espacio entre dos líneas Z es el sarcómero, la unidad funcional de la fibra. Está formado por dos tipos de filamentos: los filamentos gruesos de miosina (5), amarrados entre sí por proteínas de estructura a nivel de la línea Z. Durante la contracción, los filamentos delgados se deslizan por entre los filamentos gruesos, lo cual provoca un acortamiento de la fibra muscular. El deslizamiento se debe a un cambio de conformación de la miosina: una parte de la proteína, la «cabeza», se une al filamento de actina y, por un movimiento de volteo, tira del filamento (6). El fenómeno requiere la presencia de iones calcio, así como energía, que da la degradación del adenosintrifosfato (ATP). Cuanto más numerosos son los puentes que se establecen entre las moléculas de actina y las de miosina, más fuerte es la contracción y mayor el número de moléculas de ATP utilizadas. (Foto H. Hoppeler - I. Classen/ universidad de Berna.)



son solicitadas para contracciones débiles son las fibras I, luego a medida que se intensifica la contracción, lo van siendo las de tipo II. A escala del organismo, el gasto de energía depende de la intensidad de las contracciones y del volumen total de los músculos puestos en juego, pero también de su tipología. El rendimiento energético de las fibras lentas parece superior al de las rápidas. Varios estudios han demostrado que, a trabajo equivalente, las primeras consumen menos energía que las segundas.^(2,3) El ejercicio muscular va acompañado de una respuesta global del organismo, que

tiene por consecuencia principal el aumento del aprovisionamiento de los músculos en oxígeno y compuestos energéticos. Los intercambios gaseosos pulmonares se intensifican, con un aumento del consumo de oxígeno y de expulsión de gas carbónico proporcional a la potencia del esfuerzo. La frecuencia cardíaca también aumenta, así como, en menor medida, el volumen de sangre eyectado en cada contracción (sístole). En consecuencia, el flujo cardíaco aumenta y con él el transporte de oxígeno por la sangre. La distribución del flujo de sangre también se modifica: la irrigación de los músculos

activos queda ampliamente privilegiada, en detrimento de otros territorios vasculares, especialmente los que irrigan las vísceras (riñones, hígado). Estos cambios se deben en gran medida a un nuevo equilibrio del sistema nervioso autónomo (que regula entre otras la función cardíaca y controla el diámetro de los vasos). El sistema nervioso ortosimpático, que moviliza las defensas del organismo y eleva su nivel de vigilancia, domina entonces sobre el parasimpático, que favorece el ahorro y la reserva de energía; y ello tanto más cuanto más intenso es el ejercicio. El consumo de oxígeno, el

rítmico y el flujo cardíaco aumentan linealmente con la intensidad del ejercicio, por ejemplo, con la velocidad de la carrera (fig. 4A). No obstante, estos tres parámetros no pueden aumentar más allá de un cierto nivel de esfuerzo.

Los intercambios respiratorios y el flujo sanguíneo aumentan con la intensidad del ejercicio, favoreciendo el aporte de oxígeno a los músculos

La respuesta cardíaca ha alcanzado entonces sus límites y el aporte de oxígeno a los músculos no puede ya incrementarse. Pero el consumo máximo de oxígeno varía mucho con los individuos: es de aproximadamente de 30 a 35 ml por kilogramo y minuto en el sedentario y puede llegar a ser de 80 ml/kg m en el maratoniano (fig. 4B). Lo mismo ocurre con el flujo sanguíneo máximo. La frecuencia cardíaca máxima, por su parte, depende sobre todo de la edad del sujeto (puede estimarse a partir de

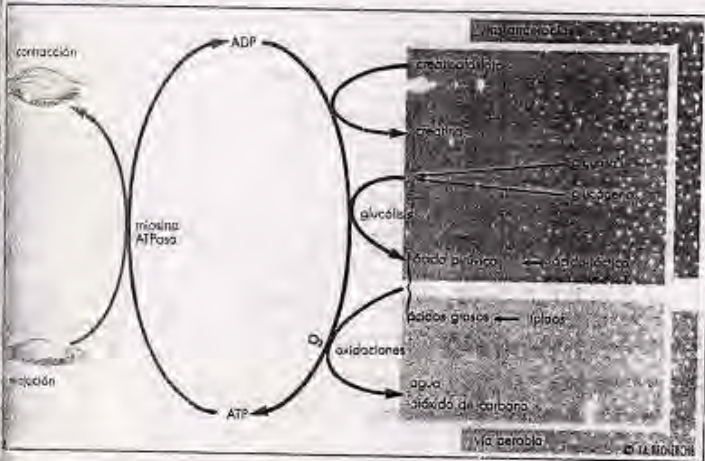
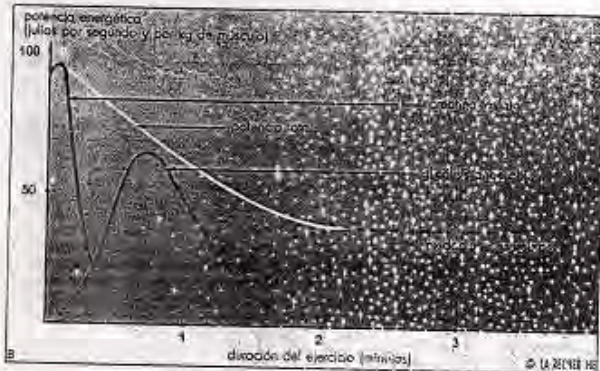


Fig. 2. La actividad deportiva produce un aumento de energía utilizada por la contracción de los músculos. El carburante. La fibra muscular es el adenosintrifosfato (ATP). Es su degradación enzimática por la miosina ATPasa lo que da la energía necesaria para la contracción. Pero la reserva muscular de ATP se agotaría en unos segundos si la fibra no asegurara su renovación degradando otros compuestos energéticos presentes en el músculo (azúcares, lípidos). Dos primeros modos de producción de energía (utilización de una proteína rica en energía, la creatinofosfato, y degradación del glucógeno y de la glucosa) pueden tener lugar en ausencia de oxígeno (vías anaerobias). Por contra, el oxígeno es indispensable para la producción de ATP a partir de los lípidos o del ácido láctico. Durante un ejercicio muscular, especialmente intenso, la energía lo proporcionan las vías anaerobias [1]. Pero a partir del primer minuto de esfuerzo, la potencia se obtiene únicamente por la vía aerobia, mucho más duradera.



[1] P.E. di Prampero, Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol., 69, 144, 1981.
[2] M.J. Kuchmaick, Basic Res. Cardiol., suppl. 2, 17, 1987.
[3] J.A. Rost, Exercise Sport Sci. Rev., 13, 33, 1985.

la fórmula: FC máx. = 220 - edad (años) ± 10). No obstante, la intensidad del ejercicio puede aumentar por encima del nivel máximo aerobio. En este caso, la energía necesaria para este exceso de potencia procede de la vía anaerobia en las vías musculares. Se acelera entonces el consumo de glucógeno, lo mismo que la producción de ácido láctico, residuo de la glucólisis. El ejercicio muscular va acompañado también de una repuesta hormonal que cabe determinar por medio de medidas sanguíneas, urinarias o salivales. Esta adaptación hormonal ha sido intensivamente estudiada por numerosos equipos desde los años cincuenta. En primer lugar, ayuda al mantenimiento del equilibrio del medio interior (homeostasis), limitando la pérdida de agua y de sal por sudación, especialmente con ocasión de esfuerzos de larga duración, en los cuales la pérdida sudoral puede ser muy importante. La limitación de las pérdidas tiene lugar a nivel de los riñones, por reducción de la cantidad de agua y de sales eliminadas en la orina. Este control hace intervenir dos hormonas, la vasopresina (u hormona antidiurética) secretada por la hipófisis, y la aldosterona, secretada por las suprarrenales. Otras hormonas favorecen el suministro de los componentes energéticos a la fibra muscular. La adrenalina, el glucagon y la hormona del crecimiento movilizan las reservas de glucógeno del hígado y de lípidos del tejido adiposo, provocando una liberación incrementada de glucosa y ácidos grasos a la sangre. El cortisol favorece la síntesis de glucosa en el hígado (neoglucogénesis) a partir de aminoácidos procedentes de la degradación de las proteínas. Otras hormonas liberadas durante el ejercicio (testosterona, somatomedinas) van, por contra, en el sentido de la síntesis proteica. Las concentraciones del conjunto de estas hormonas en el plasma aumentan con el ejercicio. Por contra,

el nivel de insulina en sangre baja, lo cual puede parecer paradójico, ya que esta hormona favorece la utilización de la glucosa por las fibras musculares. De hecho, el ejercicio tiene una influencia propia sobre la utilización de los azúcares y las grasas por el músculo. Así, aumenta el flujo sanguíneo de los músculos activos y con ello eleva localmente los aportes de glucosa y ácidos grasos a cargo de la sangre e incrementa su degrada-

ción. Se observa también un aumento de la sensibilidad de las fibras musculares a la insulina, que se prolonga hasta varias horas después del esfuerzo, y va acompañada de un incremento de la captación de glucosa por las fibras que se contraen. Generalmente se acelera el paso de los ácidos grasos a las mitocondrias, donde se oxidan.⁽⁴⁾ Pero el organismo tiene sus límites. El ejercicio físico va acompañado, a más o menos

largo plazo, de fatiga muscular. ¿Cuál es su origen? Sus factores constitutivos todavía son muy discutidos y dependen del tipo de esfuerzo. En las pruebas de resistencia, como la maratón, la natación (800 metros libres), el esquí de fondo o el ciclismo, la reducción de las reservas de glucógeno hepáticas y musculares lleva al agotamiento hipoglucémico. Más aún, la utilización excesiva de lípidos como fuente de energía por las fibras lentas lleva a la acumulación en la sangre de compuestos tóxicos, los cuerpos cetónicos: el pH sanguíneo se reduce y puede llevar incluso a un estado subcomatoso. Por otra parte, una pérdida excesiva de agua por sudación provoca una deshidratación y una reducción del volumen plasmático que puede llegar a ser del 20 %, provocando un riesgo de desactivación de la bomba cardíaca. Este cuadro se completa en general con la aparición de microlesiones de las fibras musculares.

En las pruebas cortas, como la de 400 m, la fatiga muscular podría derivar de la acumulación de ciertos productos de degradaciones metabólicas

En pruebas más cortas, como las carreras que van de los 400 a los 1500 m o el patinaje de velocidad, la producción de energía es esencialmente anaerobia y el origen de la fatiga es distinto. La acumulación de ácido láctico en la fibra muscular frena la glucólisis y por lo tanto reduce el flujo de renovación del ATP. Puede llevar a la acidosis láctica, que va acompañada de calambres, de gran fatiga, de dolores ab-

características	II (blancas)	
	IIa	IIb
superficie de las fibras (µm ²)	4,9	5,2
velocidad de contracción	media	rápida
fuerza desarrollada	••	•••
fatigabilidad	••	•••
metabolismo predominante	mixto	aerobio-glucolítico
número de mitocondrias	••	•
número de capilares por fibra	3-4	3
mioglobina	••	•
reservas de sustratos		
glucógeno	••	•••
triglicéridos	••	•
miosina-ATPasa	•••	•••
miosina	rápida lenta	rápida
proporción media		
esléo	25%	15%
tríceps braquial		70%
vasto externo	60%	47%
	(33%)	(14%)

Figura 3. Hay dos grandes tipos de fibras musculares, las lentas y las rápidas. Las fibras de tipo I, de contracción lenta tienen sobre todo un metabolismo oxidativo (aerobio). Intervienen principalmente en esfuerzos de larga duración y son mayoritarias en los músculos que aseguran la postura (esléo). Muy vascularizadas, estas fibras son rojas porque contienen mucha mioglobina, una proteína que fija el oxígeno. Las fibras II B, por el contrario, tienen una contracción rápida y potente que permite esfuerzos breves e intensos. La energía la suministran sobre todo la glucólisis (vía anaerobia). Estas fibras son mayoritarias en músculos como el tríceps. Por último, las fibras II A tienen propiedades intermedias. Los caracteres de las fibras pueden modificarse con el entrenamiento.

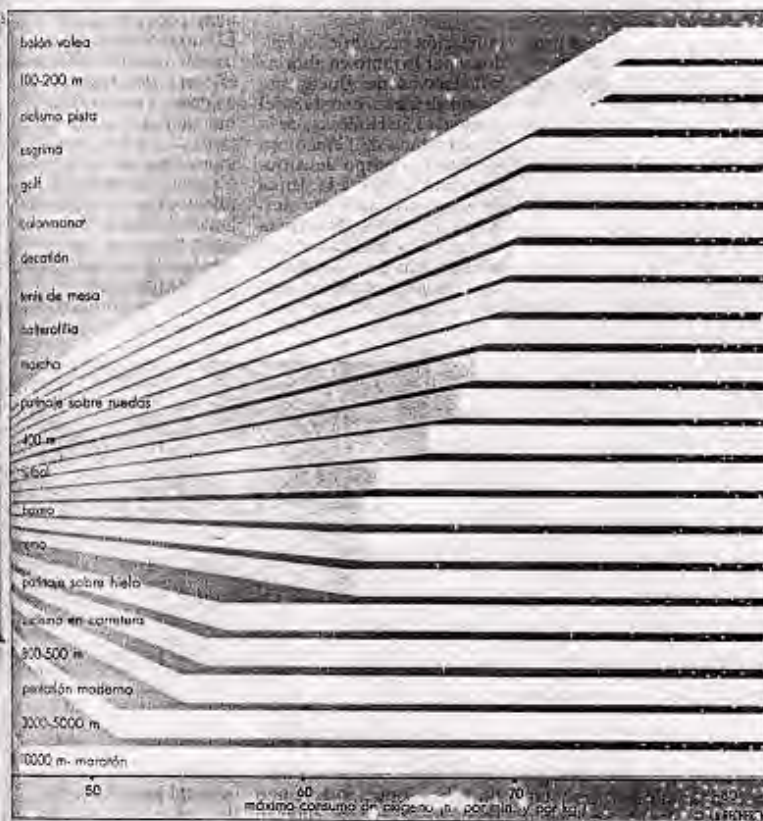
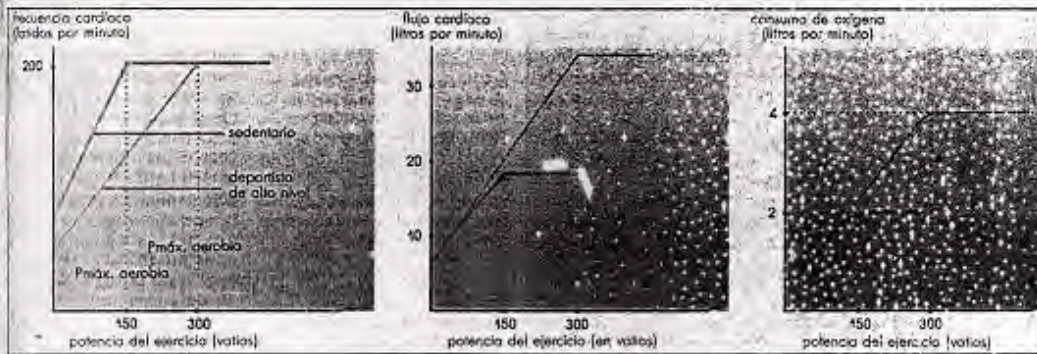


Figura 4. El esfuerzo muscular va acompañado de una adaptación cardíaca que favorece el transporte de oxígeno a los músculos (A). Cuando la intensidad del ejercicio (medida con una bicicleta ergométrica) aumenta, la frecuencia cardíaca y el flujo sanguíneo, y por lo tanto el consumo de oxígeno, crecen hasta un máximo: se obtiene la potencia máxima aerobia. A partir de entonces, sólo las vías metabólicas anaerobias permiten dar el suplemento de energía necesaria. La adaptación cardíaca al esfuerzo es mucho mejor en el deportista de alto nivel que en el sedentario. Pero el consumo máximo de oxígeno varía mucho con la disciplina deportiva (B). (Según E. Jousselin et al., INSEP, París.)

traí. Otra pista viene dada por los trabajos de T.M. Nosek y sus colaboradores de Washington, en 1987, que demostraron que la fuerza de contracción queda reducida por una limitación de las corrientes de iones calcio en la fibra muscular y por una acumulación de fosfato inorgánico procedente de la degradación del ATP.⁽⁶⁾

Por último, los esfuerzos muy breves e intensos, como el salto de longitud o los sprints cortos (60 m), están directamente limitados por la reducción de la concentración local de ATP y de creatinafosfato.

A la fatiga muscular podrían también asociarse efectos del ejercicio sobre el sistema inmunitario. Estos últimos años, algunos equipos, entre los cuales el nuestro de la facultad de medicina Cochin-Port Royal, han demostrado

dominales y de trastornos digestivos. Pero el propio lactato no es un factor limitante del ejercicio. Por el contrario, la teoría actual considera que se trata de un sustrato metabólico. El equipo de G.A. Brooks, de la universidad de California en Berkeley, ha de-

mostrado estos últimos años que el lactato procedente de las células de metabolismo anaerobio preponderante (fibras II B) podría ser captado, y utilizado, allí mismo o en otros músculos del cuerpo, por las fibras aerobias (fibras I o células cardíacas)⁽⁵⁾

El origen de la fatiga muscular, por lo tanto, debe buscarse en otra parte. En este tipo de esfuerzo, se constata un aumento de la concentración sanguínea de amoníaco, procedente de la degradación de las proteínas, que es tóxico para el sistema nervioso cen-

[4] W.W. Windes et al., J. Appl. Physiol., 67, 2230, 1989.
 [5] G.A. Brooks, Med. Sci. Sports Exerc., 23, 895, 1991.
 [6] T.M. Nosek, Science Wash., 236, 191, 1987.
 [7] A. Ferry et al., Eur. J. Appl. Physiol., 59, 435, 1990.

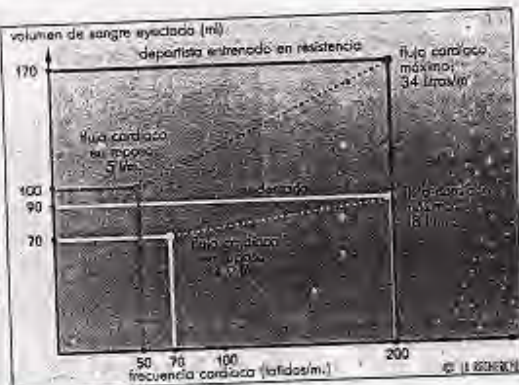


Figura 5. El entrenamiento de la resistencia, constituido por la repetición de ejercicios largos y que moviliza grandes masas musculares, favorece la utilización de oxígeno por el músculo. Su efecto sobre la adaptación cardíaca al esfuerzo es considerable. En reposo, el ritmo cardíaco queda reducido, pero el volumen de sangre eyectado en cada contracción aumenta. En total, el flujo sanguíneo queda pues inalterado. Durante el esfuerzo, el volumen máximo de sangre eyectado por el ventrículo cardíaco casi se duplica. Así, el flujo sanguíneo máximo, que es de 18 litros de sangre por minuto en el sedentario, alcanza los 34 litros por minuto o más en el maratoniano entrenado.

con modelos animales que una sola sesión de ejercicio puede inducir variaciones transitorias del número y la actividad de los diversos glóbulos blancos y de determinadas células inmunocompetentes del bazo.⁽⁷⁾ Los resultados indican generalmente un aumento del número de células inmunitarias sanguíneas, pero su función, ensayada in vitro, puede incrementarse o reducirse, lo cual complica la interpretación de estos datos experimentales.

Del sedentario al campeón, la mejora de las prestaciones se obtiene por entrenamiento físico, que tiene dos objetivos: hacer retroceder los límites de la fatiga y mejorar la resistencia o la fuerza muscular. La naturaleza del entrenamiento tiende a reforzar preferentemente uno u otro de estos aspectos. Para acceder a los mecanismos íntimos de las adaptaciones ligadas a las distintas formas de entrenamiento, los estudios realizados con deportistas deben, por razones obvias, completarse con investigaciones con animales, en los que cabe estudiar, por ejemplo, la estructura de las fibras mediante biopsias de repetición. Se plantean entonces las dificultades de la puesta a punto de modelos experimentales fiables, así como de la transposición de los resultados al hombre.⁽⁸⁾ En nuestro laboratorio, hemos utilizado un modelo de carrera y de entrenamiento de animales

pequeños (ratas, ratones) sobre cinta transportadora. El entrenamiento en resistencia favorece la realización de los esfuerzos de larga duración. Está compuesto por ejercicios dinámicos largos, de intensidad media, que movilizan grandes masas musculares, repetidos cotidianamente durante largos períodos de tiempo. Semejante entrenamiento se utiliza por ejemplo en esquí de fondo, en ciclismo, en nata-

Figura 6. Radicalmente distinto del entrenamiento de la resistencia, el entrenamiento que pretende aumentar la fuerza muscular está relacionado con la musculación «amateur». Consiste de series de esfuerzos cortos y muy intensos y provoca una hipertrofia muscular a causa de un aumento del diámetro de las fibras rápidas. Aparecen cambios hormonales (aumento del nivel de testosterona y de hormona del crecimiento), lo cual favorece la síntesis de proteínas. (Foto David Madison-Duomo/Vandystadt.)

ción. Debe constar por lo menos de tres sesiones semanales, de treinta minutos de duración máxima, con una intensidad de esfuerzo correspondiente a aproximadamente el 70 % del consumo máximo de oxígeno. Los atletas de alto nivel efectúan un entrenamiento cotidiano de cuatro a seis horas. A escala del músculo, su resultado global consiste en aumentar el potencial oxidativo (aerobio) de las fibras musculares, en favorecer la

utilización precoz de los lípidos y por lo tanto en ahorrar las reservas de glucógeno. Como demostró en 1984 el grupo de J.O. Hollosky, de la universidad de Washington⁽⁹⁾, en este tipo de entrenamiento aumenta la densidad de las mitocondrias. Paralelamente, se favorece la vía aerobia. La regulación de la expresión genética de los enzimas responsables de estas adaptaciones sigue siendo hipotética.



Por lo demás, los estudios sobre el hombre realizados en 1985 por los suizos H. Howald, del instituto Macolin, y H. Hoppeler, de la universidad de Berna, indican una transformación, al cabo de seis segundos de entrenamiento, de las fibras II rápidas en fibras I lentas.⁽¹⁰⁾ Pero esta eventualidad todavía está en discusión. Por contra, numerosos argumentos militan en favor de una evolución de las formas de proteínas contráctiles rápidas

a formas lentas, sobre todo en las fibras musculares rápidas. Se observa también un aumento de la densidad de los capilares sanguíneos en los músculos; al reducir la distancia sangre-tejidos, favorece los intercambios de oxígeno y de sustratos energéticos.⁽¹¹⁾ En los deportistas de alto nivel, lo mismo que en los aficionados, todas estas modificaciones aparecen desde la segunda semana de entrenamiento y son máximas en un período comprendido entre tres y seis meses. Pero si el entrenamiento cesa, desaparecen en unas pocas semanas.

El entrenamiento de la resistencia aumenta también la eficacia del transporte de oxígeno. Esto es debido sobre todo a una adaptación cardíaca.⁽¹²⁾ Para una misma intensidad de esfuerzo, se observa, después del entrenamiento, un aumento del volumen sanguíneo eyectado en cada contracción, paralelamente a la reducción del ritmo cardíaco, de tal modo que el flujo cardíaco total se mantiene constante (fig. 5).

El rendimiento cardíaco resulta pues mejorado. Además, el ritmo cardíaco en reposo se reduce mucho, en general por debajo de los 50 latidos por minuto. El campeón ciclista E. Merckx tenía un ritmo cardíaco inferior incluso a 35 latidos por minuto. Pero durante el esfuerzo la cantidad máxima de sangre que puede bombear el corazón aumenta considerablemente debido al aumento del volumen máximo de sangre eyectada por el ventrículo.

la. Este flujo, que es de 18 litros por minuto en el sedentario, puede alcanzar, en los ciclistas, valores superiores a los 30 litros por minuto. ¿En qué se basan estas adaptaciones cardíacas? En 1987, F.C. White, de la universidad de California en San Diego, puso de manifiesto en un modelo huma-

cuyo origen se investiga todavía; tal vez se trate de una modificación de las respuestas hormonales que controlan el equilibrio en agua y iones del medio interior.⁽¹⁶⁾ Son observables otros cambios hormonales en reposo: la concentración sanguínea de testosterona tiende a reducirse debido, al parecer, no a

ción antidolor y probablemente dan origen a un fenómeno de dependencia.⁽¹⁷⁾ ¿Hay que vincular estos efectos con la perseverancia del corredor de fondo?

El entrenamiento destinado a mejorar la fuerza y la velocidad de la contracción muscular tiene consecuencias muy distintas, por no decir opuestas a las del entrenamiento de la resistencia. Consiste en series de esfuerzos cortos e intensos, repetidos a intervalos breves durante varias sesiones semanales. La musculación «amateur» está relacionada con este tipo de entrenamiento (fig. 6). Aumenta tanto más la fuerza pura cuanto más elevadas son las cargas con las que se realiza. Su efecto más evidente es el desarrollo de una hipertrofia muscular: el equipo de P.V. Komi, de Finlandia, demostró en 1985 que ello era debido a un aumento del diámetro de las fibras rápidas.⁽²⁰⁾ Esta hipertrofia está asociada a un incremento del número de miofibrillas y a un aumento de la síntesis

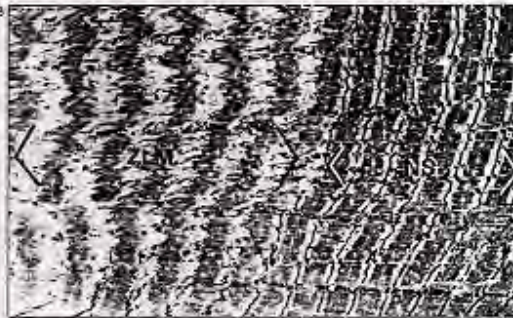
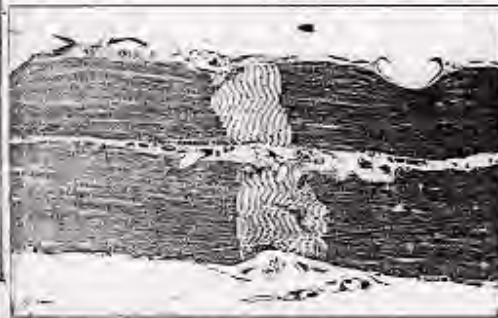
músculos eran estimulados eléctricamente de un modo continuo durante tres semanas, N.G. Morrow y sus colaboradores, de la universidad Duke en Carolina del norte, observaron un aumento de la expresión de un factor de crecimiento en el músculo, el *fibroblast growth factor*.⁽²²⁾ Este factor de crecimiento activaría las células satélite, que se fusionarían entonces con las fibras musculares adyacentes.

Desde el punto de vista hormonal, se observa en reposo una elevación del cociente testosterona libre/testosterona total contemporánea del desarrollo de la fuerza muscular, como demostró en 1987 el equipo de Komi.⁽²³⁾ La liberación de hormona del crecimiento aumenta también, pero sólo en sesiones de entrenamiento y fases de recuperación.⁽²⁴⁾ Todas estas respuestas hormonales van en el sentido de un incremento de la síntesis de proteínas. Numerosos estudios han demostrado también, en músculos sometidos a este tipo de entrenamiento, una

Con el entrenamiento de la resistencia, se reduce el nivel de testosterona. Aumenta la liberación de endorfinas cerebrales

na, el cobaya, el desarrollo de una hipertrofia cardíaca subsiguiente al entrenamiento, tal vez asociada a una modificación de una proteína, el contráctil (la miosina) y a intercambios de calcio en las fibras cardíacas.⁽¹²⁾ Estos factores son el origen de un alargamiento de la fase de contracción cardíaca, así como de una mejor relajación del músculo entre dos

una insuficiencia testicular sino a una relación reguladora nueva. Por ello, la impregnación de las estructuras cerebrales por opiáceos endógenos (las β -endorfinas), análogos a la morfina, reviste aspectos absolutamente apasionantes. El equipo de P.A. Farrel, de la universidad de Wisconsin, en Estados Unidos, demostró en los años 1980 que el nivel



contracciones, lo cual favorece el llenado del corazón y la irrigación coronaria. El entrenamiento de la resistencia se traduce también en adaptaciones del equilibrio homeostático y hormonal del cuerpo. La irrigación de los órganos vitales (hígado, riñones) durante el esfuerzo queda mejor preservada.^(14,15) La presión arterial aumenta menos durante el ejercicio. Se observa también un aumento del volumen sanguíneo en reposo, sobre

de β -endorfinas aumentaba durante el esfuerzo, y que el entrenamiento incrementaba esta secreción.^(17,18) Pero ocurre que las β -endorfinas interfieren con el control nervioso de la secreción de numerosas hormonas, especialmente la hormona de crecimiento, y las hormonas hipofisarias responsables de la regulación del ciclo menstrual en la mujer, y en el hombre de la secreción de testosterona. Además, como la morfina, tienen una ac-

sión de las proteínas contráctiles de formas rápidas, incluso en las fibras lentas. También aquí, las señales reguladoras de estas transformaciones son mal conocidas. Las células satélite situadas en la periferia de las fibras musculares, que tienen unas características similares a las de las células musculares embrionarias, parecen intervenir,⁽²¹⁾ aunque su papel no está claro. En 1990, mediante un modelo de entrenamiento de conejos cuyos

Figura 7. Un entrenamiento excesivo puede conducir a un bajo rendimiento asociado a un estado depresivo, es el sobentrenamiento. Pueden producirse microlesiones de las fibras musculares, claramente visibles en microscopía electrónica (A). En el centro, las fibras lesionadas están distendidas, casi a punto de romperse. Con mayor aumento, se ve que los filamentos contráctiles han perdido su cohesión (B). Estas lesiones son frecuentes en carreras muy largas, o en las esfuerzos que requieren a un tiempo entrenamiento y contracción del músculo, como las carreras en bajada. (Foto H. Hoppeler y R.V. Oglyvia)

(8) F.V. Booth y D.B. Thomson, *Physiol. Rev.*, 54, 1991.
 (9) J.C. Holloszy y E.F. Coyle, *J. Appl. Physiol.*, 56, 831, 1984.
 (10) H. Howald et al., *Muscle Arch.*, 403, 369, 1985.
 (11) B. Saltin y D. Colnick, in *Handbook of physiology. Skeletal muscle*, Bethesda, M.D., vol. 10, 19, 555, 1983.
 (12) C.G. Monoyis y B. Saltin, *Ann. Rev. of Physiol.*, 45, 169, 1983.
 (13) F.C. White et al., *J. Appl. Physiol.*, 62, 1097, 1987.
 (14) J.P. Coenen et al., *Am. J. Physiol.*, 225, 675, 1973.
 (15) G. Grimby, *J. Appl. Physiol.*, 20, 1294, 1965.
 (16) B.J. Freund et al., *Am. J. Physiol.*, 254, R417, 1988.
 (17) P.A. Farrel, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17, 89, 1985.
 (18) P.A. Farrel et al., *Acta Physiol. Scand.*, 130, 619, 1987.
 (19) A. Yessierli et al., *N. Engl. J. Med.*, 303, 231, 1983.
 (20) K. Häkkinen et al., *Acta Physiol. Scand.*, 125, 573, 1983.
 (21) F. Schultz y K. Datz in *The dynamic state of muscle fibers*, D. Pette (ed.), Walter de Gruyter, 1990, p. 667.
 (22) N.G. Morrow et al., *J. Clin. Invest.*, 85, 1316, 1990.
 (23) K. Häkkinen et al., *Int. J. Sports Med.*, 8, 61, 1987.
 (24) H. Gollig, *Proceedings of the Nutrition Society*, 44, 257, 1986.

reducción de la irrigación por los capilares sanguíneos, así como de la densidad de mitocondrias y de las actividades enzimáticas oxidativas (aeróbicas), mientras que aumentan las de la glucólisis (anaeróbicas). El consumo de glucógeno queda acelerado. Se da así prioridad a la velocidad de renovación del ATP por el metabolismo anaeróbico, es decir, al desarrollo de la potencia energética muscular.

Pero la repetición, durante un período de tiempo prolongado, de ejercicios intensos, seguidos por fases de recuperación demasiado cortas, puede conducir al síndrome de sobreentrenamiento, fuente de muchas desilusiones entre los deportistas de competición. El so-

breentrenamiento se da también en el deportista aficionado, tanto más cuanto que éste suele estar mal aconsejado. Este estado se manifiesta por un empeoramiento de los resultados en el terreno o con ocasión de pruebas de esfuerzo realizadas en el laboratorio. Va generalmente acompañada de síntomas psicológicos de tipo depresivo. Como han demostrado varios estudios realizados durante estos últimos siete años, se observan entonces distintos desórdenes crónicos de tipo biológico y endocrino: reducción del cociente testosterona libre/cortisol, que orienta el metabolismo hacia una degradación de las proteínas;⁽²⁵⁾ disregulación hormonal que provoca trastornos del ciclo menstrual en la mujer;⁽²⁶⁾ anemia ligada a perturbaciones del metabolismo del hierro y de la formación de glóbulos rojos;⁽²⁷⁾ reducción de las reservas de glucógeno;⁽²⁸⁾ reducción de la fuerza muscular. Las relaciones de

za al atleta en fase competitiva. Esta hipótesis, no obstante, no goza todavía de pruebas experimentales concluyentes; para ello, habría que poner de manifiesto una reducción duradera de la respuesta inmune in vivo o in vitro y del número de células inmunocompetentes.

Hay otros aspectos del sobreentrenamiento que todavía se discuten ampliamente. El papel de una eventual insuficiencia de oligoelementos (cobre, magnesio, cinc, hierro, etc.) o vitaminas es puesta en tela de juicio por la mayoría de nutricionistas. La definición cuantitativa y cualitativa de la ración alimentaria (relación glúcido/lipido) adecuada para el deportista de alto nivel es difícil de realizar. Los métodos actualmente disponibles para evaluar el gasto energético del sujeto (como la medida del ritmo cardíaco en continuo, o las encuestas alimentarias) siguen siendo poco fiables.

Por otra parte, la práctica deportiva va a menudo acompañada de lesiones musculares microscópicas (véase el recuadro 2). Estas últimas son frecuentes en las carreras de larga duración o en los llamados esfuerzos excéntricos, en los que hay simultáneamente estiramiento y contracción del músculo (como la carrera en bajada).⁽²⁹⁾

A principios de los años 1980, M. Sjöstrom y sus colaboradores, del instituto Karolinska y de la universidad Umea, en Suecia, observaron al microscopio electrónico lesiones en hasta el 30 % de las fibras musculares. La membrana de la fibra pierde su integridad y los elementos contráctiles su cohesión (fig. 7).⁽³⁰⁾

Ciertos constituyentes intracelulares (mioglobina, enzimas) se difunden entonces al exterior de la fibra, escapando a la sangre y a la orina. Afortunadamente, estas lesiones no son definitivas. La regeneración muscular se hace en dos o tres semanas gracias a un aumento de la síntesis protídica. B. Russel, de Chicago, ha descubierto

recientemente la acumulación de los ARN mensajeros de una de las proteínas contráctiles (la miosina) en las zonas lesionadas.⁽³¹⁾ Estos ARN mensajeros podrían proceder de los núcleos de la fibra y de las células satélite después de su fusión.

El sobreentrenamiento no es el único escollo que acoccha al deportista de alto nivel deseoso de mejorar sus resultados. El recurso al doping está muy extendido y se trata de una plaga no reservada a los campeones (véase «El doping de los deportistas», *Mundo Científico*, nº 40, octubre, 1984). Se utilizan ya varios procedimientos. Los estimulantes del sistema nervioso central, como las anfetaminas, hacen retroceder artificialmente el umbral de la fatiga suprimiendo sus síntomas, sobre todo cuando están asociados a drogas analgésicas de tipo morfínico. La muerte por agotamiento y el desarrollo de insomnios psicológicos, y, a largo plazo, psiquiátricos, constituyen riesgos auténticos. Algunos ejemplos han pasado a la historia, como la muerte por agotamiento del ciclista Tom Simpson en las rampas del Mont Ventoux durante el Tour de 1967. La utilización de dosis masivas de anabolizantes de síntesis (andrógenos sintéticos), que estimulan la síntesis proteica, se ha extendido especialmente durante los últimos veintidós o treinta años. Fue por esta razón por la que Ben Johnson, por no citar su caso, fue descalificado en los Juegos Olímpicos de Seúl de 1988 (fig. 8). Asociados a una musculación constante y a un régimen hiperprotídico, los anabolizantes favorecerían la hipertrofia, así como el aumento de la fuerza y la potencia musculares. También aquí, el riesgo no es poco, y la aparición de patologías hepáticas graves (cánceres, insuficiencias hepáticas) ha sido relacionada con este abuso.⁽³²⁾

Otras sustancias medicamentosas se utilizan en revóltila, a veces despreciando toda lógica fisiológica: administración de β -bloqueantes, que



Figura 8. Para tratar de mejorar sus resultados, los deportistas recurren a veces al doping. Los anabolizantes de síntesis, andrógenos sintéticos, favorecen la hipertrofia muscular. La utilización de anabolizantes por parte del corredor Ben Johnson provocó su descalificación en los Juegos Olímpicos de Seúl, en 1988. Estos productos tienen efectos secundarios graves: en particular favorecen la aparición de cáncer de hígado. (Foto Tony Duffy-Aisport/Vandivostadt.)

breentrenamiento se da también en el deportista aficionado, tanto más cuanto que éste suele estar mal aconsejado. Este estado se manifiesta por un empeoramiento de los resultados en el terreno o con ocasión de pruebas de esfuerzo realiza-

causa a efecto entre estas diversas anomalías no están todavía bien establecidas. La existencia de una condición inmunitaria deprimida en el sujeto superentrenado también es plausible, habida cuenta de la vulnerabilidad a las infecciones que caracteri-

La prevención de las lesiones ligadas a la práctica deportiva

En el deportista, pueden producirse lesiones musculares, tendinosas, óseas u articulares a partir de un traumatismo violento, de un choque directo múltiple, en el fútbol, causante de una fractura o de un movimiento brusco (accidente de esquí), o simplemente de un esguince grave de la rodilla. Estas lesiones no son exclusivas del deporte y su prevención se basa en precauciones simples: una buena técnica de sensibilización en los países nórdicos ha conseguido reducir en casi la mitad la frecuencia de las caídas de esquí alpino. Muy distintas son las lesiones inducidas por la microtraumatología, característica de la práctica deportiva. Se trata (al menos habitualmente) de lesiones repetitivas, responsables del síndrome del corredor (tendinitis, fasciitis, tendinopatías, tendones, etc.). Estas lesiones se deben a la repetición de movimientos sobrecargados, más rápidos, y de mayor amplitud. Un ejemplo típico es la tendinitis de Aquiles del maratonista, que realiza 3000 pasos en cada carrera y corre de 150 a 200 km de entrenamiento por semana. En este tipo de traumatismo, una prevención adaptada puede reducir notablemente la frecuencia de las lesiones y consiguientemente mejorar los resultados. El tenis, como, por ejemplo, es un dolor en el dorso externo del codo, causado por la presión, en ausencia de todo traumatismo violento. Se debe a una lesión degenerativa, secuela de microtraumatismos, de los tendones que rodean el bíceps, en el codo del brazo. Su prevención se basa en cinco puntos. En primer lugar, una buena calidad del gusto técnico. El tenis-elbow es frecuente en el jugador de tenis medio y no debería, pero casi nunca ocurre en el profesional. No es por casualidad: el hecho de lesionar la muñeca, de tirar, de jugar con retraso a la pelota, son los tantos elementos que interaccionan con la lesión, debido a la acción repetitiva ejercida sobre los tendones. En segundo lugar, la cantidad de práctica debe ser

razonable. El tenis-elbow se produce a menudo a raíz de cursos intensivos de una o dos semanas, o sobre todo con ocasión de entrenamientos muy prolongados. No hay que perder de vista que, en un partido, la pelota sólo está realmente en juego de 7 a 15 minutos como máximo, mientras que esta duración puede ser de 50 minutos por hora en los entrenamientos, lo cual impide todo reposo a los tendones. En tercer lugar, hay que disponer de un buen material. Las pelotas no han de ser demasiado duras, la raqueta debe ser ligera y bien equilibrada (el marco no ha de ser demasiado pesado), y sobre todo con una tensión no excesiva del cordaje en un marco medio. Un error de material provoca unas vibraciones demasiado impurpantes al golpear la pelota, que son directamente transmitidas al codo. En cuarto lugar, el tenis-elbow aparece más a menudo en tendones retraídos o degenerados, que han perdido su resistencia y su elasticidad iniciales a causa de la edad del jugador (el tenis-elbow suele aparecer después de los 35 años) o a una anomalía metabólica (nivel en sangre demasiado alto de colesterol o de ácido úrico). Es posible actuar sobre los tendones retraídos gracias a ejercicios de estiramiento y de refuerzo muscular, o sobre los tendones degenerados por la normalización de las anomalías biológicas. En quinto lugar, el riesgo de tenis-elbow queda reducido por una buena higiene de vida, una alimentación equilibrada, y, sobre todo, una hidratación correcta que haga posible una vascularización normal del tendón. Este tipo de prevención puede estar adaptada a todos los deportes, aunque con una importancia variable de los distintos factores según el carácter más técnico o físico de la actividad. La prevención de los traumatismos ligados al deporte se basa pues en recomendaciones simples, aplicables por todo deportista, ya se trate de ocio, de competición o de deporte profesional.

Gérard Sailliant

bloquean los receptores carbohidratos de la adrenalina, para moderar el temblor; doping con cafeína, que favorece el metabolismo de las grasas, pero que sobre todo es un excitante, igual que el alcohol o la cocaína... La marihuana, por contra, tendría una acción relajante antes de la competición.

La mayoría de estas sustancias, cuyo consumo está pro-

hibido por el reglamento deportivo, son fácilmente detectables en la orina de los atletas. Sus «cuidadores», nunca faltos de imaginación, han recurrido a sustancias «naturales», normalmente presentes en el organismo: la testosterona, que sobre todo aumenta la agresividad del individuo; el cortisol, cuya función excitadora del sistema nervioso central es bien

conocida; la hormona del crecimiento, cuyos supuestos efectos positivos carecen de fundamento científico serio; por último, la eritropoyetina, que estimula la producción de glóbulos rojos y, como la autotransfusión, aumenta la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre. Estos productos protagonistas, «prescritos» de acuerdo con una posología que desborda ampliamente las dosis terapéuticas, pueden tener consecuencias nefastas: perturbaciones de las funciones de reproducción para la testosterona; desórdenes metabólicos que conducen a una fragilización de la trama ósea y de los tendones, asociados a lesiones de las mucosas gástricas e intestinales, así como a una reducción de las defensas inmunitarias para el cortisol y a trastornos circulatorios que pueden llevar a hipertensión arterial y a insuficiencia cardíaca en la eritropoyetina. La identificación de los distintos efectos secundarios de estos productos dopantes, así como de los indicadores biológicos que prueban de modo indiscutible su origen exógeno, constituye actualmente un objetivo prioritario de la lucha antidoping.

Pese a los efectos negativos del sobreentrenamiento y del doping, no sería justo acabar con una nota pesimista. La casi totalidad de los experimentos internacionales y de los estudios epidemiológicos ha demostrado los efectos benéficos de una práctica constante y adaptada de las actividades físicas y deportivas.⁽³⁾ El ejercicio reduce los factores de riesgo cardiovascular y es una ayuda terapéutica contra la diabetes o el infarto. Prolonga la autonomía de los sujetos de edad avanzada y ayuda al desarrollo del niño. Subsisten, sin embargo, muchas incógnitas. En particular, todavía no se comprende bien la regulación de la expresión genética de las proteínas estructurales o de los enzimas de la fibra muscular. En la investigación con animales, el desarrollo de un modelo animal de sobreentrenamiento

permitiría verificar si, en estas condiciones, la respuesta inmunitaria queda efectivamente reducida. Por último, está al orden del día la puesta a punto de un método fiable que permita la determinación cuantitativa y cualitativa de las necesidades nutricionales.

Las consecuencias de estas investigaciones permitirán disponer de criterios biológicos y fisiológicos para evaluar con mayor o menor precisión, sobre el terreno o en el laboratorio, la eficacia del entrenamiento, e identificar los indicadores precoces del sobreentrenamiento. Se puede confiar también en mejorar la calidad y la velocidad de la regeneración muscular por medio de una mejor gestión de las fases de recuperación. Por último, una mejor comprensión de lo innato y lo adquirido en el potencial adaptativo del organismo, y especialmente de la fibra muscular, permitiría determinar mejor los límites de las prestaciones de cada individuo.

PARA MÁS INFORMACIÓN:

- A. Ferry, *Immuno-modulation liée à l'exercice musculaire - Science et médecine*, 1991.
- F. Brouns en col. con W.H.M. Saris y M. Williams, *Nutritional needs of athletes*, Idace, 1991.
- M. Rieu, *Bioénergétique de l'exercice musculaire et de l'entraînement physique*, PUF, 1988.
- H. Monod, *Nutrition et sport*, Actes du colloque du réseau INSERM origine alimentaire et performance sportive, Masson, 1990.
- G. Atlan et al., *La fatigue musculaire, aspects biochimiques et physiologiques*, Masson, 1991.
- C. Genzling (ed.), *Le corps sportif*, Assirems, 1992.
- R. Auvinet, *Thumatisme équin, premier risque des sports équestres*, Assises européennes de la prévention des risques - Les entretiens de la Rochelle, 3-6, abril de 1990.
- M.H. Binet, T. Gundersea, *Prévention des risques dans la pratique du ski alpin*, Assises européennes de la prévention des risques - Les entretiens de la Rochelle, 3-6 de abril de 1990.
- T. Royer, *Sport et appareil locomoteur*, Masson, 1989.
- J. Rodineau, G. Sailliant, *Pathologie du membre supérieur du joueur de tennis*, Masson, 1986.

- [25] H. Adreanutz et al., *Int. J. Sports Med.*, 7, 27, 1986.
- [26] D.C. Cumming et al., *Am. J. Obst. and Gynecol.*, 161, 482, 1989.
- [27] C. Ames, *J. Clin. Pathol.*, 42, 1121, 1989.
- [28] R. Calviati et al., *Med. Sc. Sports Exerc.*, 20, 86, 1988.
- [29] R.S. Hillier et al., *J. Neurol. Sci.*, 59, 185, 1983.
- [30] M. Sjoham y J. Friden, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17, 166, 1984.
- [31] B. Russel et al., *Med. Sc. Sports Exerc.*, 24, 189, 1992.
- [32] T.M. Graugh et al., *J. Clinical Pathol.*, 41, 441, 1988.
- [33] M. Rieu, *Spécialité publique*, 4, 26, 1990.